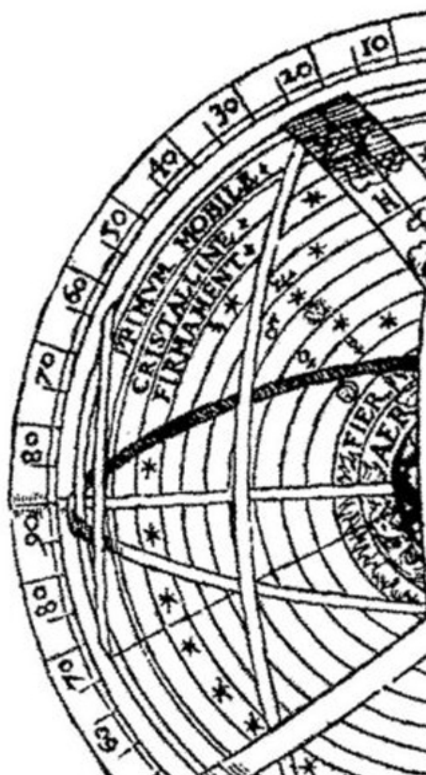


GUÍA COMARES *de*

Filosofía de la Naturaleza

Edición

Juan Arana



GUÍA COMARES *de*

Filósofía de la Naturaleza

Edición de
Juan Arana

GUÍA COMARES *de* Filosofía de la Naturaleza

Granada
2016

COLECCIÓN
GUÍA COMARES *de*
7
Director:
JUAN ANTONIO NICOLÁS
(jnicolas@ugr.es)
Coordinador:
MANUEL SÁNCHEZ RODRÍGUEZ
(manuel_sanchez_rodriguez@yahoo.com)

Editorial Comares, S.L.
Polígono Juncaril
C/ Baza, parcela 208
18220 Albolote (Granada)
Tlf.: 958 465 382
http://www.editorialcomares.com • E-mail:
libreriacomares@comares.com
https://www.facebook.com/Comares • https://twitter.com/
comareseditor
ISBN: 978-84-1380-123-0
Fotocomposición, impresión y encuadernación: COMARES

Sumario

Presentación

La filosofía de la naturaleza fue seriamente dañada por el extrañamiento recíproco de ciencia y filosofía, proceso histórico completado a fines del siglo XVIII. También ha sido perjudicada por la brecha abierta entre la cultura humanista y la científica, brecha que constituye un rasgo distintivo de nuestra época. Sin embargo, de un tiempo acá han surgido voces que se oponen a estas escisiones. La perspectiva inter- y transdisciplinar se ha puesto de moda, aunque tal vez más en el terreno programático que en el de las consecuciones efectivas. Es de esperar que, si algún día los buenos deseos se traducen en hechos tangibles, la filosofía de la naturaleza recobrará el vigor y la importancia que antaño tuvo. Los realizadores de este volumen no estamos dispuestos a aguardar pasivamente a que tal cosa ocurra. Creemos llegada la hora de iniciar la marcha y trabajar de firme, aunque por el momento haya que hacerlo con medios precarios. En este libro el lector encontrará un panorama de lo que —dicho sea con toda honestidad— constituye el modesto presente de la filosofía de la naturaleza. Ojalá quede muy pronto obsoleto, porque sería un síntoma inequívoco de que habríamos dejado atrás el marasmo tanto tiempo dominante. Hay que acortar la distancia que separa lo empírico de lo especulativo, y eso solo puede lograrse tomando riesgos y explorando caminos poco usuales. Apostamos por el futuro de la indagación filosófico-cosmológica, porque estamos descontentos con lo que actualmente es y nos parece que todavía quedan muchas alternativas inéditas por ensayar.

Por otro lado, no es un frente lo que se pretende o propone. El consenso teórico es el fruto y no la semilla de una situación consolidada. Así pues, cada uno de nosotros habla por sí mismo y no tiene por qué asumir lo afirmado por los demás. En principio, tan solo estamos de acuerdo en el objetivo último. A pesar de ello, quien lea estas páginas advertirá bastantes puntos de encuentro y notables convergencias: ese es el mejor indicio de que perseguimos algo más que un mero sueño.

* * *

Agradezco muy sinceramente al profesor Juan Nicolás el impulso inicial para realizar este proyecto y su apoyo para que llegara a buen fin. Los autores de los distintos capítulos respondieron con entusiasmo a la convocatoria y han respetado con disciplina e inteligencia el reparto de tareas que les propuse. Una parte sustancial del trabajo ha sido efectuado por Francisco Soler Gil, porque me ayudó a asegurar los flancos que había dejado más descubiertos, coordinó a los colaboradores extranjeros y se encargó de las traducciones.

Logroño, enero de 2016.

I. **Evolución Histórica**

JUAN ARANA
Universidad de Sevilla

1. **AYER Y HOY DE LA FILOSOFÍA DE LA NATURALEZA**

Hay disciplinas que se caracterizan por un presente pujante y bien asentado1. Otras en cambio tienen un futuro prometedor y halagüeño. La filosofía de la naturaleza no parece encontrarse en ninguno de estos casos: su estado actual no encierra muchos atractivos para la mayoría de los filósofos, y en cuanto a su porvenir, es bastante sombrío de acuerdo con la opinión sociológicamente predominante. En cambio bien se puede decir, parafraseando a Feyerabend (1974), que es heredera de un pasado esplendoroso. Los orígenes mismos del pensamiento racional se confunden con ella, puesto que la problemática cosmológica dominó los primeros estadios de la evolución de la filosofía, y la misma ciencia positiva no se ha desligado hasta épocas relativamente recientes de reflexiones que, por su índole especulativa y totalizadora, suelen ser atribuidas a esta materia. Sabido es que los autores presocráticos compusieron escritos que suelen ser englobados bajo el título *«Sobre la naturaleza»*, e incluso llegó a darse el caso de que la parte más ambiciosa de la filosofía fuese denominada precisamente «metafísica», llevando así impresa en su mismo nombre una relación de posterioridad o alteridad con respecto al conocimiento de lo físico.

En cualquier caso, no es necesario remontarse tanto para dar con una época en que el cultivo de la filosofía natural fuera una actividad practicada con asiduidad por los filósofos y universalmente reconocida entre los intelectuales. Así se fue escribiendo una historia cuyos jalones marcan sin solución de continuidad todo el desarrollo del pensamiento hasta los albores de la edad contemporánea. Los nombres de Platón y Aristóteles, las escuelas epicúrea y estoica, los numerosísimos comentaristas grecorromanos, árabes y cristianos, componen un apretado haz de contribuciones, grandes y pequeñas, a la empresa de edificar una filosofía de la naturaleza.

Con la eclosión renacentista la atención de los intelectuales, apartada ya de los problemas teológicos medievales, se vuelve con ímpetu renovado a la naturaleza, que es vista como un dominio ontológico autónomo y como la matriz de donde surge el ser del hombre. La visión del universo se amplía, rompiendo las barreras que estrechaban los horizontes cosmológicos de los antiguos, hasta abarcar una perspectiva infinita de mundos innumerables, regidos sin embargo por un conjunto restringido de leyes simples y racionales, descargadas de la simbología y las connotaciones afectivas que habían contaminado tradicionalmente el pensamiento cosmológico (Lenoble, 1969: 239-277).

Los primeros siglos de la modernidad constituyen en cierto modo la edad de oro de la filosofía de la naturaleza. Esta afirmación puede parecer discutible a la vista de que es entonces cuando se gesta la ciencia moderna, que acabará siendo su rival más peligrosa. Sin embargo, es inexacto creer que entre ambas hubiese una hostilidad declarada desde el primer momento. Este fue un dogma sostenido por la historiografía decimonónica de orientación positivista, pero ha sido desacreditado por los estudiosos del siglo pasado, desde Duhem hasta Crombie y Koyré. Los creadores de la moderna ciencia de la naturaleza *son* ellos mismos filósofos naturales, y no es una coincidencia el hecho de que la mayor obra de la historia de la ciencia lleve por título *Principios matemáticos de la filosofía natural*. El nuevo modo de enfocar la física no fue edificado *contra* la filosofía de la naturaleza en general, sino contra una de sus versiones, la cosmología aristotélica, cuya andadura histórica había sido prolongada más allá de lo que sus posibilidades intrínsecas permitían. Frente al Aristóteles escolastizado, los autores modernos tratan de desarrollar una filosofía natural más adecuada al caudal de nuevas experiencias y datos acumulados con el transcurso de los siglos, y en muchos casos no se contentan con esbozarla, ya que los *Principios de la Filosofía* (1644) de Descartes constituyen una síntesis de dimensiones y profundidad comparables a lo que en tiempos fueron los escritos físicos del Estagirita.

La situación comentada no había variado sustancialmente a principios del siglo XVIII, cuando Leibniz era capaz de mostrar la riqueza de soluciones que la inspiración racionalista aportaba para conocer el universo, y Newton se daba buena maña para aprovechar las virtualidades de una sabia síntesis de empirismo gnoseológico, racionalismo matematizante y ontología corpuscular. Desde un punto de vista epistemológico, la síntesis wolffiana mostraba una forma de ubicar la filosofía de la naturaleza, llamada ahora *Cosmología generalis*, dentro del complejo entramado de ciencias que se repartían los objetos por conocer y los métodos a aplicar.

2. **EL OCASO DE LA COSMOLOGÍA FILOSÓFICA**

A pesar de todo, precisamente es la sistematización de Wolff la que marca un primer momento de crisis en la trayectoria, llena de alternativas pero en general sostenida, de la filosofía de la naturaleza moderna. Este autor no reúne en su persona como antes el doble carácter de filósofo y científico, sino que se esfuerza por integrar investigaciones ajenas dentro de un esquema teórico impuesto por concepciones metafísicas propias (Arana, 1979, 2015b). Hasta entonces física y metafísica habían surgido siempre a partir de una inspiración filosófica común (al menos, con la comunidad que puede dar la identidad biográfica de su creador). La filosofía de la naturaleza expresaba esta unidad genética en una formulación armónica carente de fisuras internas. A partir de la segunda mitad del siglo XVIII no seguirá ocurriendo lo mismo: la filosofía de la naturaleza se disgrega en una serie de formulaciones parciales, inconexas e incompatibles, que no pueden dirimir sus diferencias a partir de un mínimo consenso teórico. Es la legitimidad misma de una física filosófica lo que se va a poner en duda, e incluso los sistemas filosóficos en pugna dejarán de plantear sus discrepancias en el terreno de lo cosmológico, desplazando el campo de batalla dialéctico de la física a la metafísica, la gnoseología, la ética o la antropología. Mayor importancia todavía tiene el hecho de que los hombres de ciencia, los llamados «científicos positivos» desesperaran de encontrar en los filósofos interlocutores válidos con quienes discutir los primeros principios de su trabajo teórico, y se

sintieran completamente ajenos al lenguaje y las especulaciones de aquéllos.

No descubro nada nuevo si designo a Kant como uno de los protagonistas principales de este cambio de situación. Sin entrar en análisis más precisos, que he desarrollado en otros lugares (Arana, 2015: 200-241), diré que con Kant la decadencia de la filosofía de la naturaleza se convierte en un fenómeno evidente y a primera vista irreversible. No hay que creer por ello, de todos modos, que lo cosmológico dejase de tener un puesto dentro del pensamiento científico y filosófico posterior. La importancia de la función que desempeña se sobrepuso a la mala fama del término, como reconocía Wilhelm Ostwaldt, fundador de la química física, en la introducción a sus *Lecciones sobre filosofía natural*:

> El nombre filosofía natural, con el que he intentado caracterizar el contenido de nuestras próximas conferencias, posee malas resonancias. Recuerda a un movimiento intelectual que era dominante en Alemania hace cien años. Su caudillo fue el filósofo Schelling, que había ganado un enorme influjo ya en su juventud por la fuerza de su personalidad, y determinaba en gran medida el modo de pensar de sus contemporáneos. Sin embargo, este influjo se limitó a los compatriotas de Schelling, los alemanes y, en todo caso, a los escandinavos; Inglaterra y Francia rechazaron por completo la «filosofía natural» (Ostwaldt, 1902: 1).

En este sentido, el declive de *la* filosofía de la naturaleza coincidió con el auge de *las* filosofías de la naturaleza, ya que en el siglo XIX proliferan con sorprendente abundancia cosmovisiones de los más variopintos matices, poseedoras de mayor o menor envergadura, fantasía y rigor. Así se recorren todas las escalas del registro, desde las construcciones especulativas más audaces hasta los sucedáneos más ramplones de las corrientes científicas en boga. A su modo, cada cual siguió haciendo filosofía de la naturaleza: los científicos para disponer de modelos ontológicos en que apoyar nuevas

hipótesis; los ideólogos, para asentar sus doctrinas sobre un punto de apoyo tangible; los sistemáticos, para redondear y llevar hasta sus últimas consecuencias las concepciones que habían forjado... Lo que apenas se da paralelamente es un interés puro por la filosofía de la naturaleza propiamente dicha: esta aparece a menudo como resultado de extrapolaciones de ideas científicas o a modo de transposiciones de conceptos provenientes de otras ciencias filosóficas; pero muy raramente es buscada como tal, por mor de la satisfacción teórica que su consecución puede proporcionar. Si rebuscamos entre los títulos representativos de la filosofía de la naturaleza de esta centuria, hallaremos escritos como la sección correspondiente de la *Enciclopedia de las ciencias filosóficas* de Hegel, la *Dialéctica de la naturaleza* de Engels, o los *Misterios del Universo* de Haeckel; obras, en suma, que son o fueron en su momento de interés palpitante, pero que en modo alguno coronan y sintetizan la suma de los inmensos esfuerzos realizados en aquel siglo por extender y profundizar el conocimiento del mundo físico, el siglo de Dalton, Faraday, Lyell, Liebig, Helmholtz, Maxwell y Darwin. Contienen, sí, la cosmología del idealismo absoluto, del materialismo dialéctico, o de esta o aquella forma de materialismo cientificista, pero no pueden aspirar a representar la filosofía natural del momento, de modo similar a como, a pesar de todo, la representaron en su día los *Principios* cartesianos o la *Física* aristotélica.

Así pues, dado el fracaso repetido y notorio de los intentos para reconstituir la disciplina, es comprensible que amplios sectores proclamasen su ocaso definitivo. Tanto las corrientes positivistas, por un lado, como las escuelas neokantianas, por el otro, coincidieron en este punto y organizaron una campaña socio-cultural para convencer de ello a todos sus contemporáneos. La filosofía se vio así en el trance de perder una de sus partes de mayor tradición y solera.

A este fin, se trató de incluirla en adelante dentro de las llamadas ciencias humanas o de la cultura, de lo cual queda hoy como herencia el hecho de que la filosofía suela ser adscrita, incluso a nivel educativo, a las «letras» y las humanidades, bien

lejos de las matemáticas y las ciencias físico-químicas. También está relacionado con ello el giro formalista que simultáneamente se imprime a la filosofía, incapacitándola para referirse en directo a las cosas mismas y forzándola a convertirse en una reflexión de segundo grado, esto es, en un «saber acerca del saber». Se trata de una consecuencia indirecta del predominio del idealismo en los grandes sistemas especulativos contemporáneos, una especie de «secularización» antimetafísica de la filosofía del espíritu, que se corresponde con el diagnóstico que hace Nicolai Hartmann del sometimiento de la *intentio recta* a la *intentio obliqua*:

> Pero esta actitud es la abandonada en la teoría del conocimiento, la lógica y la psicología, para torcerla hacia una dirigida en sentido oblicuo a ella —una *intentio obliqua* —. Esta es, pues, una actitud refleja. Una filosofía que hace de una de estas disciplinas la ciencia fundamental —y así lo han hecho en los tiempos modernos muchas teorías filosóficas, en el siglo XIX todas— resulta empujada de suyo y totalmente a adoptar semejante actitud refleja, hasta el punto de no salir ya de ella. Pero esto quiere decir que ya no vuelve a hallar relación natural con el mundo; desembocando en un criticismo, logicismo, metodologismo o psicologismo extraño al mundo (Hartmann, 1954: 57-58).

De esta forma no cabría hablar ya de filosofía de la *naturaleza*, sino más bien de filosofía de la *ciencia natural*.

Si no se hubiesen producido importantes novedades dentro de las ciencias de la naturaleza a comienzos del siglo XX, es bastante probable que la situación actual fuera una simple prolongación de la trayectoria descrita. Abandonada a su suerte, la filosofía de la naturaleza subsistiría en reductos enclaustrados y rancios, ocupando un lugar marginal dentro de la evolución general del pensamiento, a pesar de ser objeto de periódicos intentos de reconstrucción, tan fracasados como bien intencionados. Tengo la impresión de que, dentro del ámbito de filosofía académica, esta imagen acartonada no está muy lejos

de la realidad2: se siguen manufacturando manuales de la materia con más afán que convicción. Apenas hay ya intentos de hacer una cosmología de gran estilo, como antaño hicieron autores como Bergson, Hartmann o Whitehead. A ellos debemos propuestas en su día prometedoras, pero que se desvanecieron en la nada por falta de asiento o viabilidad.

3. **LA FILOSOFÍA NATURAL DE LOS CIENTÍFICOS**

Sin embargo, algo muy semejante a lo que la filosofía de la naturaleza es o debiera ser ha reaparecido en otra parte, en las páginas de *Science, Nature, Annalen der Physik o Die Naturwissenschaften.* Ocurre que la filosofía natural del siglo XX ha sido retomada vigorosamente por los que se piensa eran responsables de su desaparición, esto es, por los propios científicos. La verdad de esta tesis no necesitaría siquiera ser justificada, de no ser por el obstinado empeño de los filósofos de la ciencia neo-empiristas por deslindar asépticamente ciencia y filosofía, hasta convertirlas en dos actividades absolutamente extrañas3. Solo cuando se desesperó de la utópica tarea de dar con un criterio de demarcación perfecto y definitivo pudo prestarse crédito a lo que ya era un secreto a voces: la ciencia natural, cuando se enfrenta a tareas que no son puramente rutinarias e intrascendentes, arrastra consigo una «filosofía», entendiendo aquí por filosofía un compromiso teórico para resolver problemas configurados en y por la experiencia, pero al mismo tiempo no encerrados en los límites de ningún modelo epistemológico dado, por muy sofisticado que sea. Al investigador le interesan las soluciones, sin importarle en absoluto su origen ni el cumplimiento escrupuloso de una normativa transparente. Nunca como en este siglo se ha tenido oportunidad de contemplar con una claridad tan meridiana la rebeldía de los grandes científicos contra cualquier tipo de restricción formal a la praxis investigadora: Einstein puede si quiere ensimismarse en el panteísmo spinoziano para reforzar su búsqueda de una teoría unificada de campos (Einstein-Born, 1973: 235-237; Einstein-Besso, 1972: 390-392); Heisenberg puede acudir a los diálogos de Platón para encontrar una fuente de inspiración que le ayude a formular una nueva teoría de

partículas (Heisenberg, 1975: 293-305); Gold y Bondi pueden pensar en hacer no ya admisible, sino cotidiana, la idea de una creación de materia a partir de la nada (Bondi, 1972: 159-75); Everett multiplica hasta el infinito el número de universos realmente existentes (Jammer, 1974: 507-521)... Así se explica que los filósofos de la ciencia hayan tenido que reescribir sus interpretaciones de la génesis y justificación de las teorías con cada uno de los pasos que la ciencia actual ha sabido dar hacia adelante, sin cuidarse mucho de averiguar si contentaba o contradecía lo que los especialistas habían considerado hasta entonces como rasgos definitorios de «lo científico».

Ha llegado probablemente el momento de preguntarse si es legítimo insistir en hacer filosofía de la ciencia haciendo abstracción de los contenidos contemplados en cada disciplina. Este procedimiento, tendente a definir unas sospechosas «formas separadas» de la actividad científica, válidas para todo tiempo, lugar y condición, no ha llevado nunca demasiado lejos. La actitud iconoclasta de Feyerabend y otros críticos radicales de las usuales filosofías de la ciencia son un aviso que no sería prudente desatender. El paso en falso tal vez consistió en creer que bastaba con sustituir la filosofía de la naturaleza por una filosofía de la ciencia, sin advertir que el error estaba no tanto en la elección del objeto de la actividad filosófica, sino lisa y llanamente en la pretensión de hacer de ella una ciencia completamente estricta y superar con ella todas las marcas del rigor y la certeza. La ciencia positiva nunca quiso ser un conocimiento completamente necesario y universal, y aunque con ello abandonase, de acuerdo con los criterios platónicos y aristotélicos, los dominios de la *episteme* para caer en los de la mera *doxa*, lo cierto es que acabaron por robar a los filósofos la credencial de lo científico y el paradigma del saber objetivo y fidedigno. El drama de la filosofía «científica» ha estribado en creer que, si evitaba coincidir temáticamente con las ciencias positivas y se refugiaba en la lógica trascendental, el análisis del lenguaje o el estudio de las condiciones generales del conocimiento, podría recobrar el crédito perdido, sin darse cuenta de que la aporía no estaba encerrada allí, sino en la

morbosa inclinación hacia las certezas últimas y definitivas. Contrariamente a la creencia común, no es la modestia a la hora de formular preguntas el secreto de los éxitos de la ciencia positiva (¿acaso no se preocupa hoy en día por enigmas tan insondables como el origen mismo de universo y la trama esencial de la materia y la vida?), sino el pragmatismo a la hora de decidir con qué tipo de respuesta se va a conformar, renunciando de antemano a decir la última palabra sobre nada. Desde el punto de vista gnoseológico, la enseñanza que arroja la ciencia positiva sería esta: no hay temas tabú, ni cuestiones carentes de sentido; los falsos planteamientos se reducen a decidir *a priori* el valor de las respuestas y a querer dejar ciertas tareas resueltas de una vez para siempre. Por eso, es muy posible que la obtención de un criterio epistemológico universal de demarcación o de una ley absolutamente válida para regular la génesis y transformación de las teorías científicas, sean metas tan inalcanzables como la resolución total de los más viejos e intrincados misterios de la metafísica; lo cual significa que aquellos temas no son tan triviales como para que no podamos seguir profundizando en ellos indefinidamente, ni estos tan recónditos o absurdos que no merezca la pena perder el tiempo considerándolos.

Puestos, por tanto, a cuestionar la licitud de una actividad, no es la del filósofo de la naturaleza la única que está bajo sospecha. Lo único equivocado es intentar hacer de ella algo eterno. En realidad, la tarea de enfrentarse a la naturaleza desde una perspectiva de totalidad nunca ha dejado de tentar ni siquiera a los propios científicos, y como muestra para avalarlo ahí está el impacto de obras como *El azar y la necesidad* de Jaques Monod o *La nueva mente del emperador* de Roger Penrose. Recientemente, incluso los propios filósofos de la ciencia han ido tomando conciencia de la posibilidad y conveniencia de incidir en una problemática claramente cosmológica, como revela el Popper de los *post-scripta* a la *Lógica de la investigación científica* y *El yo su cerebro*, o el Bunge de la *Ontología* y *Materialismo y ciencia*.

4. **NATURALEZA COMO PRINCIPIO DE UNIDAD**

Sin duda no es este el lugar adecuado para desarrollar un tratado sistemático sobre el concepto, objeto, método y fuentes de la filosofía de la naturaleza, puesto que se trata de elaborar un simple esbozo de los presupuestos mínimos que hay que tener en cuenta para abordar el problema de la racionalización de la naturaleza. Por consiguiente, me conformaré con trazar los contornos generales de la idea de lo físico en general, para evaluar a continuación las posibilidades que existen de desarrollarla y presentar, por último, una propuesta marco para elaborar una filosofía de la naturaleza a la altura de los tiempos.

El concepto de naturaleza es ambiguo y polisémico como pocos. En el *Diccionario de la Real Academia* se contemplan para el mismo 21 acepciones fundamentales[4]. El equívoco no se resuelve con una corta incursión en el campo de las etimologías: tanto los términos latinos *natura o nascor*, como sus precedentes *gnatura, gnatus* y sus equivalentes griegos [φύσις, φύω, γένεσις, γίγνεσθαι] configuran una semántica que oscila entre las ideas de nacer, formarse, empezar, ser producido, producir, hacer crecer, engendrar, etc. Por este camino podemos remontarnos a la raíz indoeuropea *bh*ū́, y seguramente más arriba todavía, sin conseguir una solución definitiva. Si abandonamos las etimologías y emprendemos una investigación histórico-conceptual, no adelantaremos tampoco demasiado, a no ser que nos satisfaga coleccionar tablas clasificatorias, ya que Raimundo Panikkar, uno de los estudiosos que ha examinado el asunto con mayor detenimiento, ha llegado a distinguir no menos de 20 áreas de sentido fundamentales (Panikkar, 1971: 19-52), dentro de las que a su vez hay que diferenciar acepciones extremadamente variadas.

De un modo meramente provisional, y solo con el propósito de poner un poco de orden en este complejo y resbaladizo terreno, cabe señalar dos orientaciones generales de los significados: una más bien de carácter extensional (englobando un conjunto más o menos vasto de elementos) y otra intensional (queriendo definir los rasgos característicos de «lo natural»). Nos aproximamos a la segunda con el siguiente texto de Aristóteles:

> Se llama naturaleza, en un sentido, la generación de las cosas que crecen; por ejemplo, si uno pronuncia la *u* alargándola; en otro sentido aquello primero e inmanente a partir de los cual crece lo que crece. Además, aquello de donde procede en cada uno de los entes naturales el primer movimiento, que reside en ellos en cuanto tales. Y se dice que crecen cuantas cosas tienen aumento a través de otro por contacto y unión natural, o por adherencia, como los embriones. [...] Y se llama también naturaleza el elemento primero informe e inmutable desde su propia potencia, del cual eso se hace alguno de los entes naturales; por ejemplo, se dice que el bronce es la naturaleza de la estatua y de los utensilios de bronce, y la madera, de los de madera. Y lo mismo de las demás cosas. [...] Y todavía, en otro sentido, se llama naturaleza la sustancia de los entes naturales; así se entienden, por ejemplo, los que dicen que la naturaleza es la composición primera, o, como dice Empédocles: «no hay naturaleza de ninguno de los entes, sino que solo hay mezcla y permutación de las cosas mezcladas, pero se llama naturaleza entre los hombres». Por esto también cuantas cosas son o se generan naturalmente, aunque exista ya aquello a partir de lo cual se generan o son, decimos que aún no tienen la naturaleza si no tienen la especie y la forma. Por consiguiente, es por naturaleza lo que consta de estas dos cosas, como los animales y las partes de ellos. [...] Así pues, de acuerdo con lo expuesto, la naturaleza primera y propiamente dicha es la substancia de las cosas que tiene el principio del movimiento en sí mismas cuanto tales; la materia, en efecto, se llama naturaleza por susceptible de este principio, y las generaciones y el crecimiento, por ser movimientos a partir de este principio. Y el principio del movimiento de los entes naturales es ente, inmanente a ellos de algún modo o en potencia o en entelequia (Aristóteles, 1970: V, 1014b-1015a, 227-231).

De acuerdo con esto, la naturaleza es la propiedad que da unidad a la diversidad de los seres, unidad en primer lugar

consigo mismos y, en segundo lugar, unidad de varios seres distintos en cuanto que participan de una misma naturaleza. Además, constituye un principio activo que genera desde sí los cambios que acontecen al ser que lo posee.

Este modo de plantear la idea de naturaleza ha sido de capital importancia en la evolución de la filosofía, pues la convierte en una potente clave de comprensión de la realidad que nos rodea: la variedad de los objetos y la complejidad de los procesos a que están sometidos hacen a primera vista inabordable la tarea de enfrentarse a ellos como un todo. Por ello es necesario simplificar y ordenar el inmenso conjunto de los fenómenos para orientarse dentro de él. A este fin, nada más conveniente que buscar un principio engendrante o un factor intrínseco de actividad, al que podremos llamar la esencia, la sustancia o el ser de cada cosa, si cedemos a la pretensión de conocerla desde sí, desde la unidad que le atribuimos y queremos ver reflejada en el despliegue de sus manifestaciones.

Se ha dicho que lo propio de la razón es cuadricular, ordenar e inmovilizar la realidad, suplantando su genuina movilidad con una identidad inmutable, que la convierte en algo accesible al espíritu humano, pero que al mismo tiempo la enmascara y distorsiona (Meyerson, 1929: 438-499). Este juicio es cierto en lo que afirma, porque ciertamente estas son las consecuencias de la manipulación racional de los objetos; sin embargo, es falso por lo que implícitamente sugiere, puesto que no solo se comporta así el conocimiento racional, sino cualquier forma de conocimiento en general, que siempre es una síntesis simplificadora y deformante de los términos en juego. Hay también concepciones mitológicas, religiosas, estéticas, etc. de la naturaleza, y todas ellas operan tratando de encerrar en fórmulas sucintas la raíz de una realidad que nos envuelve y desborda. En esta tesitura, el poeta que comunica con una estrofa la «naturaleza» del amor o de la muerte no es menos reduccionista que el científico que pretende dar con las leyes «universales» del choque de los cuerpos. Es indiscutible que uno y otro actúan de modo muy diferente, pero los sentimientos que laten tras actitudes aparentemente encontradas no son, en el

fondo, tan incongruentes.

5. NATURALEZA COMO TOTALIDAD

La otra dimensión semántica del término «naturaleza» es la extensional. Cuando se habla de naturaleza en este sentido suele a veces escribirse el vocablo con mayúsculas, designando con ello un reino de objetos, un conjunto de cosas encerradas dentro de unos límites más o menos ideales, a los que muchas veces tratamos de dar una consistencia casi «corpórea», para rescatarlos del mundo de las puras abstracciones. Mas si de este modo se evitan los inconvenientes del esencialismo, no por ello se encuentra esta vía totalmente despejada de obstáculos: la primera dificultad consiste en que ahora hay que trazar las fronteras de lo natural, y aquí se presenta la paradoja de que no puede hacer esto con criterios «naturales»: los límites del mundo escapan a él, como nos han enseñado Wittgenstein y otros filósofos:

> La lógica llena el mundo; los límites del mundo son también sus límites.
>
> Nosotros no podemos, pues, decir en lógica: en el mundo hay esto y lo de más allá; aquello y lo otro, no.
>
> Esto parece, aparentemente, presuponer que excluimos ciertas posibilidades, lo que no puede ser, de lo contrario, la lógica saldría de los límites del mundo; esto es, siempre que pudiese considerar estos límites también desde el otro lado.
>
> Lo que no podemos pensar no podemos pensarlo. Tampoco, pues, podemos *decir* lo que no podemos pensar (Wittgenstein, 1973: 5.61).

Parece, en efecto, que para poder cartografiar un territorio hay que salirse de él —al menos *idealmente*—. Ahora bien, ¿acaso hay algo más que la naturaleza? Se ha llamado *naturalismo* a la postura filosófica que responde negativamente a esta cuestión, y es una doctrina que tiene en su favor el hecho de que racionalizar algo equivale a «naturalizarlo», hacerlo «natural», integrarlo en la *Naturaleza*. Pero, a la vez, el

naturalismo incurre en la falacia de hablar desde un punto de vista cuya imposibilidad afirma: si todo es natural, una perspectiva global que abarque toda la Naturaleza *no puede existir*, como no existen los confines de un reino sin fronteras.5 Por otra parte, si todo fuera «racional», la racionalidad se devaluaría como esos los bienes excesivamente abundantes que están al alcance de todo el mundo.

Así pues, frente a un naturalismo que amenaza con hacer de la filosofía una disciplina universal a la que nada escapa y en la que ella misma se autodiluye por la inaprensibilidad de sus propios límites, muchos pensadores han sostenido que *lo real* es más amplio que *lo natural*. Pero también ellos han tropezado con una peculiar paradoja, debido a que los conceptos de los que habitualmente nos valemos han sido forjados para explorar el mundo natural, el único que nos es familiar. Si de pronto se quiere descubrir un nuevo continente poblado de seres completamente diferentes, resulta que no hay categorías para referirse a él y todos los intentos para caracterizarlo fracasan. Esto es algo muy incómodo, porque hay un hábito de la mente que lleva siempre a preguntar por la «naturaleza» de lo que está más allá de la Naturaleza: no es tan sencillo prescindir de la versión intensional del concepto, generándose así una dialéctica que nos traiciona.

Todo ello no ha impedido que históricamente se hayan propuesto distintas fórmulas para distinguir dentro de la realidad diversas provincias, alguna de las cuales ha sido identificada entonces o más tarde con lo que se acostumbra a llamar «Naturaleza». Es sorprendente de todos modos que no siempre coincidieran en un mismo campo los seres que en nuestra cultura son, por antonomasia, «naturales», esto es, los que forman el mundo sensible.

Así por ejemplo, la escisión fundamental que se registra en el pensamiento mítico es la que opone lo sagrado a lo profano. Ahora bien, si normalmente se entiende que lo natural se asimila a la dimensión de la realidad más próxima y manifiesta a los sentidos, y al mismo tiempo se supone que es algo dotado de una consistencia ontológica propia, encontramos en cambio

que en el pensamiento mítico lo sagrado representa la verdadera realidad, mientras que lo profano, aun siendo sensible, está desprovisto de auténtica densidad ontológica. El hombre mítico no se siente cómodo en el mundo sensible, sino que se encuentra desterrado en él, y por ello mantiene una lucha perpetua para volver a vivir en el espacio y tiempo primordiales, los únicos que verdaderamente *son*:

> En Nueva Guinea, numerosos mitos hablan de largos viajes por mar, proveyendo así «modelos a los navegantes actuales», y también modelos para todas las demás actividades, «ya se trate de amor, de guerra, de pesca, de producir la lluvia o de cualquier otra cosa [...] El relato suministra precedentes para los diferentes momentos de la construcción de un barco, para los tabúes sexuales que esta implica, etc.» Cuando un capitán se hace a la mar, personifica al héroe mítico Aori, «Lleva el traje que Aori vestía, según el mito; como él, tiene la cara ennegrecida, y en los cabellos un *love* semejante al que Aori quitó de la cabeza de Iviri. Baila en la cubierta y abre los brazos como Aori desplegaba sus alas [...] Un pescador me dice que cuando iba a capturar peces (con su arco) se consideraba el propio Kivavia. No imploraba el favor y la ayuda de ese héroe mítico: se identificaba con él (Eliade, 1972: 38-39).

Tal vez esta consideración puede ayudar a comprender por qué este tipo de culturas, a pesar de que desde nuestra óptica viven en estrecho contacto con la «naturaleza», no han llegado a desarrollar una reflexión importante sobre ella: su actitud con respecto al entorno físico resulta decepcionantemente utilitaria y desprovista de la «poesía» con que suele adornarla el turista procedente de las civilizaciones urbanas. Y es que, en el fondo, las categorías con que se enfrentan al mundo responden a una manera diferente de ver las cosas, que no tiene por qué estar al servicio de las recientes preocupaciones ecológicas del hombre occidental.

Es interesante comprobar las huellas que concepciones para

nosotros exóticas han dejado en los orígenes del pensamiento racional, huellas que pueden ser detectadas en las primeras divisiones de la realidad efectuadas por los filósofos. Así por ejemplo, la conocida oposición entre lo sensible y lo inteligible, claramente presente en Platón, se corresponde bastante bien a la dicotomía fundamental del pensamiento mítico:

> Si esto se da de esta manera, es necesario acordar que una es la especie inmutable, no generada e indestructible y que ni admite en sí nada proveniente de otro lado ni ella misma marcha hacia otro lugar, invisible y, más precisamente, no perceptible por medio de los sentidos, aquello que observa el acto del pensamiento. Y lo segundo lleva su mismo nombre y es semejante a él, perceptible por los sentidos: generado, siempre cambiante y que surge en un lugar y desaparece nuevamente, captable por una opinión unida a la percepción sensible (Platón, 51e-52a, 1992: 204).

En este caso, lo sensible se ve igualmente devaluado: está sometido al devenir, no es objeto de ciencia y solo puede ser conocido en la medida que refleja y participa de lo inteligible. La verdadera naturaleza de las cosas, lo que las permite identificarse consigo mismas, no está, pues, en lo que nosotros llamamos «Naturaleza», sino lejos de ella.

6. **FÍSICA Y ANIMISMO**

Los caminos que ha tenido que recorrer el pensamiento para llegar a concebir la naturaleza como un dominio de inteligibilidad autónomo han sido, por tanto, intrincados y azarosos. Robert Lenoble propuso una ingeniosa interpretación, sosteniendo que el requisito previo indispensable para la constitución de lo físico como tal tuvo que consistir en despojar al mundo de la mente humana y de los duendes que la habitan; sería la extraversión socrática, con su desdén hacia las cosas sin alma y su interés exclusivo por el hombre y sus problemas, la responsable última del nacimiento de la física, que habría heredado, privado de misterios y afectividad, todo lo que aburría a Sócrates y sus discípulos (Lenoble, 1969: 60-64).

Frente a las confusiones del animismo universal y la abirragada multidimensionalidad de la mentalidad mágica, habrían sido pues los moralistas quienes, haciendo de lo humano y lo espiritual un mundo cerrado, impermeable a lo puramente externo y material, proporcionaron a los investigadores de la naturaleza un campo libre de interferencias para ensayar sus métodos y conjeturas: sería el Epicuro ético y no el físico el que debiera ser considerado padre de las ciencias de la naturaleza. Para curar al hombre de sus terrores encerró a los dioses en el Olimpo y las cosas materiales ganaron así una esfera de realidad anónima y neutral (Lenoble, 1969: 91-114).

Es curioso comprobar que, aunque la versión «naturalista» de la especulación cosmológica precede a las demás ramas de las ciencias filosóficas6, no obstante, para que llegase a constituirse la filosofía de la naturaleza como filosofía «regional», tuvo que efectuarse antes una delimitación extrínseca de su objeto. Tiene mucho interés en relación a este propósito seguir la evolución del pensamiento religioso. Es obvio que la especulación teológica parte de la contraposición Dios/ mundo, que originariamente reproduce la que se da entre lo sagrado y lo profano en el pensamiento mítico. Sin embargo, en las grandes religiones monoteístas el sentido de tal contraposición fue evolucionando hasta adquirir rasgos originales: lo divino se hizo cada vez algo más extraño y transcendente al mundo, el cual solo entonces empezó a encontrar su propia identidad. Así tiene lugar un proceso de densificación ontológica del mundo, que adquiere poco a poco su propia «naturaleza», esto es, una forma, dinámica y legalidad separadas: el monopolio de la «causa primera» es sustituido por la presencia complementaria de las «causas segundas». De este modo la inmediatez de lo fenoménico se aproxima a la transparencia gnoseológica de lo inteligible y la consistencia ontológica de lo real: lo sensible no solamente «parece», sino que también «es» y puede llegar a ser posible hacerlo objeto de «ciencia». Con ello surge el moderno concepto de «Naturaleza», entendida como un conjunto de elementos cuya identidad material y formal no se define de modo exclusivamente negativo, sino que queda asegurado

genéticamente por su origen a partir de la causa primera (*naturaleza* como «creación»). Este conjunto es capaz de prestarse a una consideración autónoma, sin otra hipoteca teológica que una genérica dependencia del poder creador y conservador de Dios. El reconocimiento de la especificidad de lo «físico» por parte de los teólogos es algo claramente reconocible en figuras como Tomás de Aquino y constituye una de las condiciones de posibilidad del nacimiento de la moderna ciencia de la naturaleza:

> Suprimir el orden a las cosas creadas es quitarles lo mejor que tienen; pues cada una de ellas es en sí misma buena, pero todas juntas son óptimas por razón del orden del universo, pues el todo siempre es mejor que las partes y su propio fin. Y si se priva a las cosas de sus acciones, se suprime el orden que hay entre ellas, pues las cosas que son de diversa naturaleza no se enlazan en la unidad del orden si no es porque unas son agentes y otras pacientes. Luego es improcedente decir que las cosas no tienen acciones propias (Tomás de Aquino, 1968: II, 282).

7. NATURALEZA Y RAZÓN

En resumidas cuentas: el concepto de naturaleza presenta desde un punto de vista lógico complicaciones tales, que usarlo solo se justifica por el rico depósito de experiencia histórica que su semántica encierra; analizar este es una empresa que no parece conducir a resultados unívocos, pero el desarrollo de tal análisis lleva a conclusiones aproximativas muy valiosas desde el punto de vista hermenéutico y, sobre todo, ofrece la posibilidad de establecer vínculos relevantes entre tradiciones culturales muy diversas, tanto en el ámbito de la razón como en otras formas de pensamiento. Conformarse con una delimitación tan ambigua del objeto de la disciplina encierra ciertamente riesgos importantes, pues da pie a cuestionar la propia identidad de la filosofía natural y de las ciencias de la naturaleza en general. Sin embargo, no parece que históricamente esta indefinición haya producido daños irreparables. Mayores males han acarreado las definiciones reductivas, como por ejemplo, cuando se ha pretendido limitar literalmente lo físico a lo

sensible, lo espacio-temporal, lo material, lo mecánico, etc., categorías todas ellas que encierran dificultades propias de definición no menores que las que se dan con la idea misma de naturaleza. Las ciencias positivas se han acostumbrado desde hace mucho tiempo a convivir con conceptos fundamentales a cuya dilucidación previa renuncian de entrada (es el caso de la «materia» en física, o la «vida» en biología). No se ve por qué no va a poder hacer lo mismo el filósofo de la naturaleza: la naturaleza sería así, aquello cuya consideración hemos heredado de una larga tradición intelectual, y cuya definición no es precisamente el punto del que partimos, sino aquél hacia el que nos dirigimos y al que tal vez lleguemos algún día, nosotros o alguno de los que nos releve.

Aceptando, no obstante, como definición aproximativa que la Naturaleza es el conjunto de las cosas inmersas en el tiempo y el espacio que se pueden captar por medio de los sentidos o inducir razonablemente a partir de ellos, encontramos que es algo que ha constituido un reto para el conocimiento humano desde sus albores. No es la filosofía la única ni la primera forma de saber que se ha ocupado de ella. Sin embargo, cuando le ha llegado el turno lo ha hecho a su modo, y de ello han resultado unas consecuencias dignas de consideración. Antes de hacerlo, no obstante, se interpone la cuestión de saber qué es lo específico de la filosofía en general frente a otros tipos de conocimiento. Si por su etimología puede ser identificada con el ansia de un saber no culminado, sin otra restricción ni matiz, históricamente estas señas se completan con el *logos*, la razón, como medio fundamental de articulación y síntesis. Aquí se entiende razón como la propiedad que permite convertir el conocimiento en algo discursivo, sobre la base de las inferencias lógico-formales y lógico-matemáticas. En este sentido, está claro que la razón impone ciertas constantes formales a los contenidos que codifica y convierte en un cuerpo de doctrina, otorgándoles coherencia y trabazón; pero no prejuzga en absoluto la procedencia gnoseológica de los materiales que procesa, ni aporta criterios de adecuación o verdad propiamente dichos.

8. **CIENCIA Y FILOSOFÍA DE LA NATURALEZA**

Está claro que un concepto tan laxo como el que se acaba de exponer no permite todavía introducir una distinción clara entre la filosofía y la ciencia; pero también hay que tener en cuenta que esta distinción no es un dato de primera hora en la evolución histórica de los conocimientos. Tanto la filosofía como las mil y una formas de la ciencia positiva se presentan con la aspiración de constituir un saber racional. ¿Qué es, pues, lo que las diferencia? ¿Existen acaso dos formas cualitativamente diferentes de servirse de la razón, apoyándose quizás en facultades separadas o en funciones lógicas irreductibles entre sí? Esta es una de las cuestiones más importantes que se puede plantear la teoría del conocimiento, y por lo que no se trata ahora ahora de entrar en el fondo de ella. Desde el punto de vista de la historia de las relaciones entre la filosofía y las ciencias de la naturaleza, argumentos de elemental prudencia metodológica desaconsejan fundar la distinción principalmente sobre esta base. La economía de pensamiento y la claridad quedarían mejor salvaguardadas si en vez de acudir a criterios formales bastara con criterios materiales de apreciación. Lo cual significa que, si cabe introducir una distinción válida separando los objetos que trata la ciencia de los de la filosofía, en vez de tener que reconocer un dinamismo gnoseológico o metodológico particular en cada caso, se evitará depender de la resolución de unas cuestiones que ocupan a los metafísicos del conocimiento y a los filósofos de la ciencia desde hace siglos, sin que se destaque todavía en el horizonte ninguna solución definitiva. Debe serle reconocido al filósofo de la naturaleza el derecho a empezar a trabajar antes de que sus colegas hayan alcanzado un acuerdo definitivo, porque en otro caso probablemente nunca llegaría a ponerse en marcha. Por eso, decir que la diferencia fundamental entre filosofía de la naturaleza y ciencia de la naturaleza es que al filósofo de la naturaleza le interesan *todos* los fenómenos físicos, mientras que al científico no le importa más que *un tipo particular* de fenómenos físicos, puede parecer una caracterización demasiado pobre para un especialista en epistemología general, pero no deja de tener algunas ventajas

que voy a tratar de exponer a continuación.

Como primera providencia, conviene invocar dos textos de Aristóteles, filósofo poco sospechoso de adoptar una postura simplista ante el problema de la ordenación de las formas de la razón:

> Hay una ciencia que contempla el Ente en cuanto ente y lo que le corresponde de suyo. Y esta ciencia no se identifica con ninguna de las que llamamos particulares, pues ninguna de las otras especula en general acerca del Ente en cuanto ente, sino que, habiendo separado alguna parte de él, considera los accidentes en esta; por ejemplo, las ciencias matemáticas (Aristóteles, 1970: IV, 1, 1003a).
>
> También la Matemática es especulativa. Pero no vamos a resolver ahora si trata de entes inmóviles y separados, aunque está claro que algunas ramas de las Matemáticas los consideran en cuanto inmóviles y separados. Y si hay algo eterno e inmóvil y separado, es evidente que su conocimiento corresponde a una ciencia especulativa, pero no a la Física (pues la Física trata de ciertos seres movibles) ni a la Matemática, sino a otra anterior a ambas. Pues la Física versa sobre entes separados, pero no inmóviles, y algunas ramas de la Matemática, sobre entes inmóviles, pero sin duda no separables, sino como implicados en la materia. En cambio, la Ciencia primera versa sobre entes separados e inmóviles. Ahora bien: todas las causas son necesariamente eternas, y sobre todo estas; porque estas son causas de los entes divinos que nos son manifiestos (Aristóteles, 1970: IV, 1, 1026a).

Podría objetarse que hacer del filósofo natural alguien que solo se distingue del científico por la amplitud de temas que aborda, sería lo mismo que equipararlo a una especie de periodista de la ciencia o, todo lo más, a un divulgador científico de altos vuelos. Sin embargo el periodista y el divulgador no persiguen tanto el conocimiento mismo como su comunicación: tratan de resumir y presentar al gran público los

resultados de los trabajos realizados en todos los órdenes de la investigación natural. En cambio, el filósofo natural es ante todo un «amante de la sabiduría», alguien interesado en primer lugar en el conocimiento mismo y subsidiariamente también en su comunicación. Los órdenes de prioridad son, pues, inversos en ambos casos.

Otra dificultad sería que, de no introducir ninguna distinción formal entre la filosofía y las ciencias de la naturaleza, aquella quedaría sujeta a la evolución azarosa e imprevisible de estas, lo cual la privaría de todo rastro de estabilidad, fijeza y rigor. Un autor contemporáneo se ha hecho eco de este reproche al afirmar: «Si la Filosofía de la Naturaleza ha de ir de tal manera a remolque de las ciencias y variar como ellas, es que no pertenece al ámbito de la ciencia sino de la opinión» (Petit Sullá, 1980: 26-27). He de responder honradamente que no veo dónde está la incompatibilidad entre la cientificidad de un conocimiento y la variabilidad que implica la posibilidad de perfeccionarlo históricamente por medio de lo que llamamos «progreso científico». Confieso que no pretendo para la filosofía de la naturaleza una seguridad ni un rigor mayores que el que acostumbra a otorgársele a las «ciencias positivas de la naturaleza». Por lo tanto acepto que, si se dictamina que la física o la química modernas no son «ciencias», sino algo que se mueve en el nivel de la «opinión», la filosofía de la naturaleza que propongo sea catalogada de la misma manera. Con lo que no estoy de acuerdo es con que tenga por ello que «ir a remolque» de las ciencias. En cierto modo es verdad que quien se ocupa de un objeto más general depende en parte del que estudia una parte de él, pero también ocurre lo contrario: así, p. ej., un físico de gran ambición teórica, como Einstein, tiene que ser tributario de datos y hallazgos suministrados por ramas especiales de la física, como la espectroscopia, la electrodinámica o la astronomía; pero también es cierto que su trabajo puede abrir perspectivas nuevas a estas y otras disciplinas, y hacer que revisen sus conceptos y principios. La dependencia es recíproca, y el puesto de vanguardia puede corresponder alternativamente a un cultivador de una ciencia

más particular, como Michelson, y a otro de una materia más general, como Einstein. La filosofía de la naturaleza depende y en ocasiones «va a remolque» no solo de las ciencias positivas, sino de las más modestas y obvias intuiciones de los sentidos; del mismo modo, cuando se practica con propiedad y corrección, puede llegar a ponerse por delante de unas y otras, como tantas veces ha sucedido a lo largo de la historia7.

En este punto hay que salir al paso de una posible malinterpretación, que por otra parte sería bastante comprensible. Podría parecer que aquí se está defendiendo una concepción cientificista de la filosofía de la naturaleza, cuando lo cierto es que se propone una reinterpretación de la imagen que tenemos de las propias ciencias positivas y de sus relaciones con la filosofía8. En realidad, el debate sobre si hay que hacer una ciencia positiva «filosófica» o una filosofía «positiva» no se pudo plantear siquiera antes de la la constitución autónoma de las ciencias positivas y de la ruptura del paradigma de la unidad del saber racional reinante hasta mediados del siglo XVIII. Con mucha mayor razón, los términos del enfrentamiento entre las ciencias de la naturaleza y la filosofía de la naturaleza no pueden ser remontados mucho más atrás de esa fecha, cuando ni siquiera había un nombre para distinguir la física filosófica de otro tipo de física que no lo fuera. De todos modos, tal vez merezca la pena recordar brevemente los antecedentes de la separación de unas y otra.

9. RAÍCES HISTÓRICAS DE LA SEPARACIÓN ENTRE LA CIENCIA Y LA FILOSOFÍA DE LA NATURALEZA

Si tratamos de profundizar en la prehistoria del problema, cabe encontrar en la misma Antigüedad el germen de una fragmentación interna del saber cosmológico, como secuela de la escisión existente en Platón entre el mundo sensible y el mundo inteligible, escisión que Aristóteles no supo acabar de recomponer. En este último se da, en efecto, una distinción dentro de las ciencias físicas que tienen forma matemática entre las de observación, que constatan la realidad de los fenómenos físicos [τό ότι] y las que razonan tratando de demostrar el por qué de los fenómenos [τό διοτι]. Las primeras están

subordinadas a las segundas, si bien se pueden dar grados diversos de subordinaciones sucesivas (Duhem, s.d.: I, 143-144). Esta propuesta se apoya sin duda en el planteamiento platónico del problema astronómico, el cual confiere al astrónomo la tarea del «salvar las apariencias» (Duhem, s.d.: I, 102-106). Conlleva en el fondo la creencia de que en la realidad se da un plano superficial, fenoménico, que puede ser racionalizado sin profundizar demasiado en el trasfondo ontológico que hay detrás de lo manifiesto. Esto se corresponde con la distinción aristotélica entre la sustancia (lo que luego se denominará «esencia») y los accidentes: los fenómenos, el qué de las cosas, no va más allá de las determinaciones accidentales; el por qué llega más lejos y penetra en el «interior» de los entes, en la esencia.

En la Edad Media, este divorcio fue reforzado por la incompatibilidad del sistema ptolemaico —el modelo astronómico generalmente usado— y la cosmología aristotélica —la teoría que explicaba oficialmente el *porqué* de las cosas—. Siempre que se ha producido una confrontación entre dos doctrinas discordantes cuya validez se afirma simultáneamente, se ha acabado manteniendo una teoría de la doble verdad. En este caso, ambas doctrinas caían dentro del campo de lo racional, y por ello la doble verdad introducida al efecto significó una escisión de la propia razón: por una parte estaría el método matemático, que aplicado a los fenómenos conduciría a la racionalidad de la astronomía, y por otro el método filosófico, que sería el propio de la racionalidad física. Ya Gémino había afirmado en el siglo I a.C. que:

> ... no forma parte de la ocupación del astrónomo conocer qué es adecuado por naturaleza a una posición de reposo, y qué tipo de cuerpos son aptos para moverse, sino que introduce hipótesis según las cuales algunos cuerpos permanecen fijos, mientras que otros se mueven, y considera después a qué hipótesis corresponden los fenómenos realmente observados en el cielo (Losee, 1976: 30).

Esta concepción presentaba la ventaja de dar a los

astrónomos un margen de maniobra muy cómodo para ensayar modelos teóricos y probar hasta qué punto podían ajustar sus previsiones teóricas a las observaciones, sin preocuparse de hacerlos compatibles con el sistema ontológico dominante. Su incidencia sobre los pensadores de la baja Edad Media tardía y ante todo sobre los fundadores de la ciencia moderna es innegable. Galileo distingue en su *Trattato della sfera* entre el cosmógrafo y el cosmólogo, subrayando que la labor de aquél es meramente descriptiva, matemática y fenomenológica, en tanto que la de este es explicativa, filosófica, esencial y transfenoménica (Galilei, 1890: II, 203 y ss.).

A partir del hueco así abierto, se fue ensanchando poco a poco la brecha que separaba la física fenoménica y matemática de la física metafísica y transfenoménica. Lo paradójico del caso es que mientras la primera no encontró ningún obstáculo para definir los puntos de apoyo teóricos y empíricos de su trabajo, la segunda se vio constreñida a potenciar cada vez más lo especulativo, debido a la sobreabundancia de elementos teóricos que padecía y a la ausencia de una determinación clara del género y valor de las intuiciones en que habría de apoyarse. Hubo además una gran cantidad de factores y circunstancias que contribuyeron a que la separación pareciese cada vez más irreductible:

a) La tendencia a la especialización temática, que se produjo espontáneamente como consecuencia de la acumulación cuantitativa del saber.

b) La proliferación de metodologías particulares, derivada de la concentración del esfuerzo en investigaciones muy específicas.

c) La dificultad para medir, cuantificar y, por consiguiente, matematizar ciertos conceptos y la facilidad para hacerlo en otros casos.

d) Las connotaciones éticas, religiosas, jurídicas y políticas adquiridas por algunas opciones teóricas en una sociedad como la europea, que se fue apoyando de modo creciente en la razón. Las creaciones intelectuales pudieron ser en otras culturas un pasatiempo casi inofensivo, pero en Occidente se dio el caso de

guerras desencadenadas por una discusión teológica, conmociones sociales alentadas por una doctrina filosófica y revoluciones socio-económicas iniciadas por un descubrimiento científico. Teniendo esto en cuenta, no es sorprendente que las autoridades llegasen a recelar hasta de las repercusiones que pudiera tener una innovación demasiado chocante en el estudio de los astros. En tales condiciones, la compartimentación del saber y de la razón pudo resultar muy deseable, no solo para los que detentaban el poder político, económico o religioso (que podían controlar así el impacto de las nuevas ideas), sino para los propios intelectuales que tenían entonces oportunidad de preservar mejor la libertad de pensamiento e investigación dentro de cada parcela, librándose de interferencias y sospechas.

e) En virtud de su misma progresividad, las ciencias que no se estancaron y supieron ir superando día a día las viejas fórmulas, ganaron para los espíritus más conservadores la fama de ser «poco seguras», en el sentido de que sus resultados tenían que ser puramente provisionales y con el tiempo acabarían siendo sustituidos por otros, tal como les había ocurrido a las ideas que acababan de suplantar. En cambio, las ciencias que llevaban milenios atascadas en los mismos dilemas, sin romper el punto muerto en que se encontraban desde tiempo inmemorial, y que ni siquiera tenían perspectivas de poder desechar alguna de las muchas propuestas de solución legadas por el pasado, tenían para estos mismos espíritus un halo de «eternidad», aunque solo fuese la eternidad de sus discusiones y la recurrencia inacabable de sus enigmas.

10. **CONSECUENCIAS DE LA ESCISIÓN**

Con todo esto, cuando se generalizó el hábito de juzgar por las apariencias desconociendo la entraña de los problemas, cosa que ocurrió más o menos al surgir el fenómeno de la cultura de masas (esto es, con la Ilustración), la dialéctica entre progresistas y conservadores, que en condiciones normales constituye un motor en la dinámica del conocimiento y un sano revulsivo para eliminar lo caduco y poner a prueba la validez de lo nuevo, degeneró en una escisión irreductible entre una ciencia que no sabía desprenderse de sus errores y otra que

debía fiar al azar y la buena fortuna la estrategia de su futuro desarrollo, y que era tan incapaz de dar razón de sí, como de encontrarla en otra parte. Todo esto no se refiere por desgracia únicamente al pasado. Todavía hoy hablan muchos filósofos del saber absoluto, universal y necesario, no como de una «idea reguladora» sino como una consecución real y efectiva que les ha cabido la gloria de alcanzar. Para ellos el saber «positivo» es un amasijo de opiniones meramente plausibles, carentes de fijeza, significación profunda y certidumbre. Por su parte, bastantes científicos responden al desdén con el desdén y transforman su trabajo en una actividad de espaldas al pasado y con un presente desasosegado, en tensa expectación de lo «por venir». Para estos, cualquier reflexión teórica de altura se convierte inmediatamente en perniciosa, y en buena parte su actividad científica misma se encuentra agarrotada por una aversión obsesiva contra lo especulativo.

Así pues, la ciencia de la naturaleza y la filosofía de la naturaleza se divorciaron en un momento dado por mutuo acuerdo. Para los científicos llegó a ser intolerable la tutela, las trabas y las molestas intromisiones de los filósofos. El gran Helmholtz no pudo ser más claro en este sentido, cuando afirmó: «La filosofía natural de Hegel aparece a los científicos por lo menos como absolutamente carente de sentido» (Helmholtz, 1966: 14).

Por su parte, a los filósofos se les hizo incómodo y exasperante el ritmo vertiginoso introducido por aquéllos en la evolución del pensamiento, y la expeditiva resolución con que daban por zanjadas en sentido pragmático, o apartaban a un lado como inabordables, sus cuestiones favoritas. Seguramente ambos partidos tuvieron razones de peso para lamentarse de la actitud del adversario, pues los científicos se sumaron a menudo con demasiada facilidad y falta de reflexión a las concepciones filosóficas que les resultaban coyunturalmente favorables, y los filósofos intervinieron numerosas veces con precipitación y desconocimiento en debates científicos cruciales, ganándose una fama poco envidiable de ignorantes, altaneros e imprudentes (Reichenbach, 1975: 13-62).

A pesar de todo, repartir culpas entre unos y otros me parece que es una actividad bastante poco productiva. El pasado no puede ser alterado y en cambio tenemos el desafío, de cara al futuro, de decidir qué tipo de filosofía de la naturaleza vamos a poner en práctica. Una última mirada hacia atrás me hace pensar que las consecuencias de dos siglos de separación han sido mucho más funestas para la filosofía natural que para las ciencias de la naturaleza. Y es que en el fondo estas nunca dejaron de hacer su propia filosofía, aunque fuese a veces de un modo subrepticio y enmascarado (Philipp Frank, crítico nada sospechoso en este sentido, reconoce que incluso los investigadores más precavidos contra la metafísica suelen expresar opiniones «metafísicas» en los prefacios de sus obras científicas) (Carnap, 1969: 274). Ello seguramente se debe a que el científico carece de oportunidades o de habilidad para disimular cuando las cosas le van mal, mientras que a los filósofos nunca les ha faltado esta maña, lo que les ha permitido muchas veces evadirse a la responsabilidad de reconocer que han llegado a un callejón sin salida, y que es preciso retroceder y empezar de nuevo.

11. **LA FILOSOFÍA NATURAL COMO PROYECTO**

En este punto conviene ya dejar atrás las digresiones en las que he tenido que entrar para aproximarme al concepto de filosofía de la naturaleza. Sintetizaré los resultados de la encuesta. El primero es el reconocimiento de que la filosofía de la naturaleza tiene hoy en día un carácter problemático, lo cual ensombrece y dificulta la tarea de establecer una identidad previa de la misma, tanto a nivel de concepto como de objeto y método. Esta problematicidad no empaña sin embargo la vitalidad de esta rama de la filosofía; vitalidad que tal vez no ha sido suficientemente aprovechada por sus primeros beneficiarios, es decir, por los filósofos «profesionales», pero esto mismo hace más atrayente la empresa de reactivarla. Por otra parte, son las promesas y no las realizaciones acabadas lo que constituye la trama de todo proyecto.

Según esto, defiendo una idea de la filosofía de la naturaleza que en primer lugar trata de asumir todo el pasado de la

disciplina, evitando al propio tiempo dejarla encerrada en él. Esto no es tan difícil, porque la historia enseña que las tareas de la filosofía natural quedaron truncadas en un momento dado de su evolución, aun cuando no habían dejado de tener sentido ni tampoco fueron asumidas por otro tipo diferente de actividad socialmente reconocida. Las necesidades teóricas que cubría quedaron sobre la mesa y ahí siguen, ya que desde entonces se han ido resolviendo y satisfaciendo sobre la marcha, sin orden ni concierto, a medida que la agudización de su urgencia suscitaba una actuación concreta. Creo que las cosas no deben continuar así y que lo más deseable sería que la reflexión filosófica asumiera otra vez, sin alardes ni complejos, el papel que le corresponde. Ahora bien, ¿en qué puede consistir este papel?

Empezando por el objeto de la disciplina, el peligro de perderse en cavilaciones sin fin es mayor que el riesgo de no acertar al ciento por ciento. Quizás no sea posible definir con toda exactitud cuál es la «esencia» de lo físico, pero para los efectos prácticos se puede caracterizar con precisión suficiente. Como más arriba quedó indicado, podría entenderse por natural lo que está inmerso en el tiempo y el espacio, y se puede captar por los sentidos o inferir razonablemente a partir de ellos.

Quien habla de espacio y tiempo habla de movimiento, lo cual remite a una de las especificaciones más clásicas de lo físico. De la extensión y el movimiento se pasa fácilmente a la idea de lo corpóreo y lo material. Las determinaciones de lo material llevan pronto a hablar de cantidad y cualidad, junto con las restantes categorías de lo físico. Racionalizar el devenir implica relacionar, buscar vínculos causales e identificar secuencias nomológicas. La variedad de estas manifestaciones reclama el establecimiento de taxonomías, la distinción de niveles y luego, como contrapartida, el reconocimiento de jerarquías y principios de unificación. Por último, la función sintética del intelecto conduce a preguntarse por el ámbito de validez de todos estos hallazgos, por la posibilidad de un «más allá» de la física y, caso de confirmarse, por los lazos que la unen con su «más acá».

12. **LA DISTINCIÓN ENTRE CIENCIA Y FILOSOFÍA**

Estas son, en suma, las tareas con que se enfrenta el estudioso de la naturaleza. ¿Son tareas filosóficas o corresponden más bien al saber «positivo»? He defendido que basta con distinguir entre las ciencias y la filosofía mediante un criterio temático: el científico se ocupa de una parte de lo físico, mientras que el filósofo está atento sin restricciones a todo lo que pueda considerarse «natural». No hay duda de que esta distinción, montada sobre la contraposición de lo general y lo particular, dista de ser inequívoca. Solo permite llegar a conclusiones objetivas en un pequeño número de casos, ya que delimitar el momento en que cierta teoría alcanza un grado de generalidad que la convierte *eo ipso* en filosófica, es algo puramente *convencional*.9

Así pues, ¿es solo una convención histórico-cultural lo que decide qué cosas son científicas y cuáles filosóficas? No veo ningún inconveniente grave en aceptar que esto es así para cierto número de cuestiones intermedias. Es innecesario ser un partidario a ultranza de la ley leibniciana de continuidad para reconocer que la mayor parte de las dicotomías que se proyectan sobre un espectro amplio y variado de objetos encuentran dificultades para fijar el punto exacto de bifurcación, porque casi siempre se da una zona de transición en la que los rasgos que apoyan la diferenciación se confunden unos en otros, mezclándose a través de variaciones insensibles10. Lo cual no significa que carezca de sentido distinguir entre filosofía y ciencias positivas. La disimilitud de ambas formas cognoscitivas es evidente cuando se da una clara determinación hacia lo universal o hacia lo particular, sobre todo cuando el estudio de un ámbito acotado de lo físico se emprende con ayuda de métodos o hipótesis de los que se sabe que no va a ser posible otorgarles mayor generalidad. Mas, del mismo modo que el investigador puede conscientemente autorrestringir el alcance de una teoría o de un procedimiento, no tiene por qué limitarlo obligatoriamente si no se dan razones intrínsecas para ello (esto es, razones derivadas del contenido sustantivo de los supuestos de la teoría y el método). Fijar *a*

priori el techo de la investigación por otro tipo de canon es algo que se ha querido hacer en el pasado en muchas ocasiones ya sea en nombre de la utilidad que pueda reportar para la humanidad, como Comte:

> Por tanto, es preciso separar más profundamente que de costumbre el punto de vista solar y el punto de vista universal, la idea de mundo y la de universo: el primero es el más elevado al que podemos acceder realmente, y también es el único que nos interesa verdaderamente. Así, sin renunciar enteramente a la esperanza de obtener algunos conocimientos siderales, es preciso concebir la astronomía positiva como consistiendo esencialmente en el estudio geométrico y mecánico del pequeño número de cuerpos celestes que componen el *mundo* del que formamos parte (Comte, 1835, II, 17-18).

… o por una idea preconcebida de lo que la experiencia va a permitir inducir, como Stuart Mill (Mill, 1917: 465-485.) o por una presunción más o menos elaborada de las posibilidades expresivas de la lógica o el lenguaje.

Todas estas barreras fueron rotas sistemáticamente poco después de haber sido levantadas: la astronomía galáctica y extragaláctica ha sido la parte más activamente cultivada de las ciencias del universo en los siglos XIX y XX, desde Bessel hasta Hubble; Freud demostró que los trasfondos más secretos de la mente pueden ser objeto de investigación empírica, y los físicos y matemáticos que intervinieron en la revolución cuántica consiguieron formular coherentemente una teoría que desafía las posibilidades analíticas de la lógica y la capacidad interpretativa del lenguaje ordinario, arrastrando consecuencias tan paradójicas como la conversión de categorías gnoseológicas en ontológicas, o la aceptación conjunta de proposiciones lógicamente incompatibles (de lo que resulta la obligatoriedad de introducir principios de complementariedad, relaciones de incertidumbre, lógicas polivalentes, etc.).

Al llegar a este punto de evolución del problema, algunos

filósofos de la naturaleza pueden preguntarse con qué derecho es impugnada la legitimidad de su actividad cuando no pretenden ir más lejos de lo que muchos «científicos» hacen como prolongación natural, reflexión propedéutica, o autocrítica de sus investigaciones. ¿Es acaso el hecho de entregarse también a cálculos y manipulaciones empíricas lo que da derecho a un científico como Schrödinger a hablar sobre qué es la vida o una ley de la naturaleza, privilegio que se quiere negar a los filósofos? (Schrödinger, 1975; 1976). No discuto la conveniencia de conocer el contenido de los hallazgos empíricos y el significado de las formulaciones matemáticas que puedan ser importantes para dirimir estas cuestiones. Sin embargo, exigir una dedicación preferente a lo último para poder hablar de lo primero, sería algo semejante a prohibir el ejercicio de la política a nivel nacional a quienes no ostenten simultáneamente un cargo político de responsabilidad en los ayuntamientos o la administración regional. Tal vez sea oportuno recordar aquí las siguientes palabras de Popper:

> Recuerdo un número de problemas similares a este último —problemas serios, no rompecabezas—, que me asaltaron cuando tenía doce o trece años; por ejemplo, el problema del origen de la vida, que la teoría darwinista había dejado abierto, y el de si la vida es simplemente un proceso químico (yo opté por la teoría de que los organismos son fuego). Pienso que estos son problemas casi inevitables para cualquiera que haya oído hablar de Darwin, sea de niño o de adulto. El hecho de que se realicen trabajos experimentales en conexión con ellos, no los convierte en problemas no filosóficos. Y menos aún deberemos decretar, de manera arbitraria, que no existen problemas filosóficos, o que son insolubles (aunque tal vez sean disolubles) (Popper, 1977: 22-23).

13. **UNIDAD Y DIVERSIDAD DEL SABER**

No se trata, insisto una vez más, de asimilar la filosofía a la ciencia, sino de integrar a la vez ciencia y filosofía en una visión

menos estrecha del conocimiento racional de la naturaleza. Este concepto no es nada nuevo, ya que corresponde literalmente con lo que Aristóteles llamaba *Física*, parte de la filosofía que contemplaba todo lo que la razón puede llegar a averiguar de la realidad natural. Conviene tener presente que esta concepción sobrevivió a dos milenios de revoluciones epistemológicas, incluida la que acompañó al nacimiento de la ciencia moderna. El siguiente texto de Descartes puede servir para confirmarlo:

> Después de que haya adquirido alguna costumbre de encontrar la verdad en estas cuestiones, debe dedicarse en serio a la verdadera filosofía, cuya primera parte es la Metafísica, que contiene los Principios del conocimiento, entre los cuales se encuentra la explicación de los principales atributos de Dios, de la inmaterialidad de nuestra almas, y de todas las nociones claras y simples que están en nosotros. La segunda parte es la física, en la cual, una vez encontrados los verdaderos Principios de las cosas materiales, se examina en general cómo está compuesto el Universo, después en particular cuál es la naturaleza de esta Tierra y de todos los cuerpos que más comúnmente se encuentran alrededor de ella, como el aire, el agua, el fuego, el imán y otros minerales (Descartes, 1996: IX-2, 14).

En cambio, a principios del siglo XVIII empezaron a ser corrientes unas clasificaciones de las ciencias donde el número de disciplinas se multiplicaba generosamente y su ordenación obedecía a todo tipo de criterios extrínsecos.11 Allí la física, o las partes de la física, aparecía emparejada unas veces con la metafísica (como «metafísica de la naturaleza»), otras con el conocimiento histórico (como «historia natural»), otras con la matemática (y no solo la mecánica, la astronomía y la óptica, sino también ramas como la «pirotecnia» o la «arquitectura militar»), otras, en fin, con diversas formas poco elaboradas del conocimiento empírico (Tonelli, 1975: 243-250). Estas clasificaciones no tenían en realidad un significado

epistemológico muy profundo: respondían a la obsesión clasificatoria del momento; pero los verdaderos especialistas en el conocimiento de la naturaleza, como Euler y d'Alembert, no hacían en realidad ningún caso a estos distingos (d'Alembert, 1967: I, 299-345).

A fin de cuentas, es Immanuel Kant quien, condicionado por sus antecedentes wolffianos y obligado a ello por las escisiones que introdujo entre la sensibilidad, el entendimiento y la razón, plantea la separación entre una cosmología filosófica (considerada inaceptable por él mismo), una ciencia natural pura (que presupone una metafísica de la naturaleza, donde se contienen los principios de su necesidad), y también una física histórica, en la que no aparecen otra cosa que fenómenos naturales ordenados sistemáticamente (Kant, 1968, IV: 468-469).

Es sorprendente la inadecuación de este esquema con la situación real de las ciencias de la naturaleza en aquella época y también con la evolución posterior de las mismas. Kant propone un reparto de papeles en el que por primera vez se le asigna al filósofo de la naturaleza una tarea bien diferente de la del científico: según su propuesta el filósofo tiene que oponerse a las pretensiones de la cosmología filosófica de viejo cuño y desarrollar la nueva metafísica de la naturaleza de carácter estrictamente formal (tareas que se plantean en la *Crítica de la razón pura* (A 405, B 433-A 567, B 595) y en los *Principios metafísicos de la ciencia natural* (Kant, 1968, IV: 468), respectivamente). El físico ha de esforzarse en transformar las formas a posteriori del conocimiento histórico de la naturaleza (*historische Naturlehre, Naturbeschreibung, Naturgeschichte*) en genuina y racional ciencia natural *a priori*. Con ello queda definido todo un programa de actuaciones, pero lo cierto es que no se pudo llegar muy lejos a la hora de ponerlo en práctica: el propio Kant fue el primer y último «metafísico de la naturaleza» según el modelo estipulado por la filosofía transcendental, ya que ningún discípulo pudo enmendar el fracaso con que se saldaron los esfuerzos seniles y denodados del maestro por encontrar un tránsito entre la ciencia natural y la metafísica de

la naturaleza (*Opus postumum*). En cuanto al modelo kantiano de lo científico, aunque nunca fue mayor que a principios del siglo XIX el optimismo de los científicos sobre el estatuto epistemológico de la física, ni siquiera entonces pudo tomar nadie en serio el criterio de que: «*Propiamente* solo lo que posee una certeza apodíctica puede ser denominado ciencia; el conocimiento que contiene mera certeza empírica solo impropiamente es denominado *saber*» (Kant, 1968, IV: 468),

Como consecuencia de todo ello hay que concluir que el idealismo crítico no es una buena base para definir el estatus de la filosofía de la naturaleza ni sus relaciones con las ciencias de la naturaleza. No se trata de una tesis intrascendente, porque el influjo kantiano es algo omnipresente en la epistemología contemporánea, y los puntos de vista que he resumido han condicionado casi todos los intentos que se han hecho en los últimos 150 años para reconstruir la filosofía de la naturaleza, no solo dentro de lo que, en sentido lato, puede llamarse «filosofía transcendental», sino también en autores de orientación completamente diversa y aun opuesta. Constituyen ejemplos representativos de ello Jacques Maritain y sus patéticos esfuerzos para desdoblar la vieja física aristotélica en un grupo de ciencias experimentales de tipo «empirio-esquemático», un segundo grupo de ciencias físico-matemáticas «empirio-métricas» y, por fin, una genuina filosofía de la naturaleza, todo ello dentro del consabido primer grado de abstracción (Maritain, 1967: 134-137).

No se crea tampoco que esto es un alegato en favor de un retorno simplista a posiciones «prekantianas». En general no es posible nunca dar marcha atrás en la historia, y además hay muchas partes de la doctrina de Kant que es necesario mantener. Él nos ha enseñado cuál es la complejidad de la intervención del sujeto (con sus funciones y estructuras formales) en el proceso del conocimiento y nos ha librado para siempre de un realismo ingenuo que pretende identificar la verdad última y el «en sí» de los objetos con las formas de las intuiciones sensibles y las redes lógico-conceptuales que echamos sobre las cosas para atraparlas. Ahora bien, una cosa es

aprender lo que Kant puede enseñar y otra muy distinta es seguirlo en planteamientos que no resisten un análisis teórico mínimamente cuidadoso, y cuya debilidad puede ponerse fácilmente de manifiesto a través de un estudio histórico que se apoye en fuentes de primera mano. Este es, por cierto, el caso en lo que respecta a la filosofía de la física y las matemáticas de Kant, tesis que he documentado en otros trabajos. Nada más lógico entonces que, cuando nos enfrentamos al problema de la filosofía de la naturaleza en sus relaciones con la ciencia positiva, tengamos que proponernos superarlo del todo y no solo a medias, como ocurrió con las tradiciones neo-kantiana y neo-empirista.

Los científicos propiamente dichos aprendieron bien pronto a ir más allá de Kant, sin perder sus atinadas enseñanzas, y así es como los grandes creadores de la ciencia contemporánea han podido criticar con clarividencia sus propios conceptos sin llegar a hipostasiar la dimensión transcendental de la subjetividad: siempre han desconfiado de las objetivaciones, sin por ello negarles todo valor de verdad ontológica. La herencia kantiana asumida por la ciencia positiva consistiría en haber captado cuán escurridiza y refinada es la trama de los fenómenos naturales; la superación de Kant estaría en no creer tampoco que esta compleja tela de araña ha sido tejida por nosotros mismos, o por algo que opera en nosotros: puede perfectamente nacer en ese más allá de los objetos que llamamos «realidad»12. Sin el agobio de tener que alcanzar en todo caso certezas apodícticas, es posible abordar la aventura del conocimiento científico filosófico de la naturaleza, contando con el riesgo de una empresa que no tiene asegurados *a priori* sus resultados, pero también con la confianza de que en principio no hay huecos insalvables entre el hombre y el objeto de sus averiguaciones.

14. **FENÓMENO Y REALIDAD**

Antes de concluir este capítulo, he de tratar de prevenir la reticencia que puede despertar el hecho de haber basado la distinción entre las ciencias positivas y la filosofía de la naturaleza sobre meras diferencias de grado de generalidad en los asuntos considerados. Algunos podrían decir que esto

convierte la filosofía natural en un saber máximamente general… y máximamente vacío, porque al prescindir de los rasgos particulares que configuran cada uno de los géneros que integran la esfera de lo físico, uno se queda al final con los rasgos comunes a todos los seres naturales, perdiendo lo propio y peculiar de cada uno de ellos: el filósofo se vería obligado entonces a no decir más que trivialidades que no aportarían nada nuevo al conocimiento. Según algunos filósofos de inspiración aristotélica, la raíz de este defecto es haber ejercido una simple «abstracción total», en lugar de una «abstracción formal», la única que en este supuesto permite ganar en universalidad sin perder profundidad. De acuerdo con todo ello, el filósofo no solo abarca más que el científico, sino que además tiene que conocer «de otro modo».

Para defenderme contra esta crítica, he de empezar advirtiendo que no pretendo que la filosofía de la naturaleza aplique exactamente las mismas técnicas y procedimientos que la ciencia positiva. Sería ridículo proponer que los filósofos trabajen con microscopios o espectrógrafos de masas (por más que no les haría ningún mal tocar alguno de ellos de vez en cuando). Cada objeto impone su método, si lo que se quiere es estudiarlo adecuadamente. Lo que mantengo es que las diferencias de procedimiento que se dan entre la investigación científico-natural y filosófico-natural no suponen necesariamente dos formas irreductibles de ejercer la razón. La discontinuidad que ciertos autores encuentran aquí me parece derivar del prejuicio (o del presupuesto, para evitar una connotación peyorativa) de que los fenómenos físicos forman una especie de costra superficial que esconde las estructuras profundas de lo que está por detrás de ellos. Averiguar si esto es así o no constituye sin lugar a dudas un interesante problema metafísico. No obstante, yo me limito a partir del presupuesto (o del prejuicio) de que los fenómenos físicos constituyen la manifestación de lo real y no necesariamente su ocultamiento. A mi modo de ver, situar todo lo fenoménico en un mismo plano constituye un error de perspectiva (y no digamos si se considera que dicho plano es irrelevante). Es más plausible suponer que si

los fenómenos tienen un valor referencial a lo ontológico, no todos ellos remiten a algo situado a la misma profundidad, ya que de hecho unos son más relevantes que otros y llevan más lejos en la compresión de lo físico, de modo que el conjunto de los fenómenos permite trazar un mapa en «relieve» de la naturaleza, no un croquis meramente bidimensional.

Opino que con los fenómenos ha ocurrido algo semejante a lo que sucedió en la Antigüedad con las estrellas: muchos astrónomos pensaban que estaban todas a la misma distancia. Filolao de Crotona situaba detrás de ellas una esfera ígnea, responsable última de la luminosidad de dichos astros. Hoy sabemos que los más próximos están alejados entre sí tanto como nosotros de ellos. El estudio «fenomenológico» de las estrellas no ha conducido, desde luego, a descubrir ningún círculo de fuego escondido, pero ha revelado un universo increíblemente más rico, completo y «profundo» que el que soñaron nunca los pitagóricos. No conviene apurar el paralelismo de este ejemplo con la problemática que debatimos, pero tampoco hay que rechazar de entrada que, cuando se estudian desde una perspectiva de totalidad y sin desechar artificialmente ninguna de sus dimensiones, pueden ser hechos hallazgos tan fascinantes «en» los fenómenos como «detrás» de ellos.

---

1 En la elaboración de este capítulo, he aprovechado materiales publicados en Arana, 1999.

2 No obstante, también me pregunto si no habría que extender el diagnóstico al conjunto de toda la filosofía al uso. En este sentido, la filosofía de la naturaleza puede tener al menos el mérito de no conseguir disfrazar sus dificultades.

3 Empeño que probablemente fue una de las principales causas desencadenades del declive de la epistemología neopositivista, como luminosamente puso de relieve Popper en su autobiografía intelectual (POPPER, 1977: 225-242).

4 Entre las que figuran las de: índole o temperamento —núm. 12— señorío de vasallos o derecho adquirido a él por el linaje —núm. 17—; sexo, especialmente en las hembras —núm. 10—.

5 Quine expresa esto con su tesis de que no se da el punto de

vista de un «exiliado del cosmos».

6 Y es sin duda en este sentido en el que Aristóteles dice en el capítulo primero del libro sexto de la *Metafísica* que: «si no hay ninguna otra sustancia aparte de las constituidas por la naturaleza, la Física será Ciencia primera» (ARIS-TÓTELES, 1970: 1026a).

7 Así lo han reconocido los científicos «positivos» de todas las épocas. Véase, p. ej., Lord KELVIN, 1971: 581.

8 Conviene recordar que las tesis defendidas a lo largo de este libro son sostenidas en cada caso por el autor del respectivo capítulo, sin que tengan que ser necesariariamente compartidas por los de los restantes.

9 Se trata de un problema análogo al de decidir a partir de qué número exacto de granos se puede hablar de un *montón* de trigo. Véase BOREL, 1974: 132-135.

10 «Desde este punto de vista, las cuestiones ontológicas van de par con las científico-naturales. [...] Carnap ha reconocido que solo puede sostener una diversidad de criterios para las cuestiones ontológicas por un lado y para las hipótesis científicas por otro asumiendo una distinción absoluta entre lo analítico y lo sintético; y no es necesario repetir que es una distinción que ya he rechazado» (QUINE, 1984: 80-81).

11 Algunos autores proponían a la vez hasta tres géneros distintos de clasificación; véase TONELLI, 1975: 243-294.

12 Considérese, a título de ejemplo, el siguiente texto: «A lo largo de este estudio, hemos encontrado nuestra inspiración en un cierto número de filósofos […] un rasgo, al menos, reúne a los que nos han ayudado a pensar en la metamorfosis conceptual de la ciencia y sus implicaciones, y es la tentativa de hablar del mundo sin pasar por el tribunal kantiano, sin colocar en el centro de su sistema al sujeto humano definido por sus categorías intelectuales, sin someter sus propósitos al criterio de lo que pueda pensar, legítimamente, tal sujeto» (PRIGOGINE, STENGERS, 1983: 277).

II. **Espacio y tiempo**

ANA RIOJA
Universidad Complutense. Madrid

1. **CONSIDERACIONES INTRODUCTORIAS PRERRELATIVISTAS**

A diferencia de otros términos de carácter técnico como fuerza centrípeta, masa inercial, entropía, etc., los de espacio y tiempo son de uso común. Si se trata del espacio, y en particular del lugar, no hay que ser un especialista para poder referirse al lugar que un cuerpo ocupa o que abandona, a la imposibilidad de dos cuerpos de ocupar a la vez el mismo lugar, al hecho de que uno se sitúe en el lugar dejado por otro, etc. Más frecuentes, si cabe, son las menciones al omnipresente tiempo que parece gobernar nuestras vidas; así decimos que ha transcurrido mucho o poco tiempo, que pasa deprisa (cuando somos adultos) o despacio (cuando somos niños), que fluye, deviene y nunca se detiene. Ahora bien, las preguntas que la filosofía natural se ha hecho desde Aristóteles, son tan sencillas de formular como difíciles de responder: *qué es el lugar* de un cuerpo y, en general, *qué es el espacio* en cuanto conjunto de todos los lugares, *qué es el tiempo*.

1.1. **Acerca del lugar y del espacio**

Partamos de proposiciones como las siguientes: «el cuerpo 1 está en un lugar A», «el cuerpo 1 abandona el lugar A para situarse en el lugar B», «el cuerpo 2 ocupa el lugar A que antes ocupaba el cuerpo 1», etc. Hablamos pues de cuerpo y de lugar, y la fundamental cuestión que a continuación se plantea es la siguiente: ¿en qué relación están uno y otro, esto es, *para que haya cuerpos ha de haber lugar* o, por el contrario, *para que haya lugar ha de haber cuerpos*?

En el primer caso es evidente que el lugar no se identifica con ningún cuerpo, pero tal vez podría tratarse del *intervalo vacío* que media entre los cuerpos. En efecto, si aceptamos que no toda extensión es material, esto es, que todo cuerpo es extenso pero que no toda extensión ha de ser corpórea, entonces

dispondríamos de un inmenso receptáculo, sin propiedades físicas pero sí geométricas, subsistente e independiente de los cuerpos que se alojan en él. Por definición esa extensión habrá de ser *vacía*, puesto que no es material, y por ello mismo será susceptible de ser ocupada localmente por dichos cuerpos (por el contrario, un cuerpo no puede ocupar otro puesto que son impenetrables), pero también podrá haber regiones que queden vacías. Los cuerpos son impenetrables, el espacio no. Según este punto de vista, «estar en un lugar» querrá decir ocupar, llenar una parte del espacio vacío preexistente, sin que dicho espacio precise a su vez ser ocupado por cuerpo alguno. Si planteamos el tema en estos términos, desembocamos en la concepción del *espacio absoluto* de Newton, el cual ostenta la prioridad siempre y en todo caso: para que haya cuerpos, ha de haber espacio en el que estos se localicen y por el que se desplacen, pero el espacio es independiente de todo cuerpo, por lo que subsiste aun cuando nada exista en él.

Sin embargo, también es posible defender la tesis contraria, esto es, la prioridad de la materia sobre el espacio, lo cual implicará renunciar a ese infinito escenario en el que todo está contenido y que nos ha permitido entender el lugar como aquella parte o región del mismo ocupada por un cuerpo. ¿Qué será entonces el lugar? Sencillamente la posición de un móvil con respecto a otro tomado como término de referencia. En este caso propiamente los cuerpos no están *en* ninguna parte sino unos *por relación a* los otros en determinadas relaciones de posición. Sin duda ahora la prioridad corresponde a la materia, puesto que si no hay cuerpos, no hay espacio concebido como el conjunto de todas las relaciones de posición reales o posibles. Ello nos conduce a la noción de *espacio relativo* (pre-einsteiniana).

Newton no negó este carácter relacional del espacio (el único, por otro lado, que es susceptible de medida), pero consideró que era una concepción meramente fenoménica, aparente. El verdadero espacio es el absoluto. En cambio, quienes con anterioridad a Einstein se opusieron por razones muy distintas a conceder realidad ontológica a un espacio vacío independiente

de los cuerpos, rechazaron toda posibilidad de sobreañadir al espacio relacional o relativo otro de carácter absoluto; no hay más espacio que el relativo (Leibniz, Berkeley, Hume, Mach, e incluso Aristóteles, aunque no empleando esta terminología, etc.). Entre ambos extremos puede decirse que se han movido todas las concepciones acerca del espacio físico con anterioridad a Einstein.

1.2. **Acerca del tiempo**

La dualidad planteada con respecto al espacio se da asimismo a propósito del tiempo, si bien en este caso es preciso realizar una distinción previa entre la percepción interna de la sucesión de los estados de conciencia (tiempo psicológico) y la percepción externa de los acontecimientos asimismo sucesivos ligados a los cambios en la Naturaleza (tiempo físico). Aquí nos limitaremos a este último.

Si en el epígrafe anterior nos preguntábamos por la relación entre materia y espacio, ahora lo que interesa es la relación entre tiempo y cambio: *¿para que haya cambio, proceso, historia, devenir ha de haber tiempo* o, más bien, *para que haya tiempo ha de haber cambio?* La cuestión es que, desde cierto punto de vista, hablar de movimiento o, en general, de cambio supone siempre una referencia explícita o implícita al tiempo, en cuyo caso sin tiempo no hay cambio. Pero, desde un punto de vista contrario, allí donde no percibimos cambio alguno no nos parece que haya transcurrido tiempo, de modo que sin cambio no hay tiempo. En efecto, la permanencia en un único estado no supone paso de tiempo. Así, si todo quedara detenido en un eterno presente en el que ningún estado *sucediera* a otro, entonces no podría decirse que unos son *anteriores* y otros *posteriores*, unos *pasados* y otros *futuros*. Después de todo cambiar no es sino pasar sucesivamente por estados diferentes (o por lugares diferentes en el caso del movimiento local). Y si no se da tal sucesión entre términos distintos, no puede hablarse de tiempo. En definitiva, conforme a cierta concepción del tiempo que vamos a denominar *relativa*, lo que no cambia, lo que no está en proceso, carece de historia porque no es temporal.

Pero también cabría afirmar la primera de las posibilidades

apuntadas: sin tiempo no hay movimiento, ya que nada podría tener un carácter sucesivo (anterior-posterior, pasado-futuro) si no se diera sobre el telón de fondo del tiempo, el cual es la condición de posibilidad del cambio y no a la inversa. Si tanto desde la perspectiva cosmológica, geológica, biológica, como psicológica, sociológica, etc., todo cuanto acontece tiene un carácter evolutivo e histórico es precisamente porque se da *en* un tiempo único que todo la abraza y que fluye por sí mismo al margen de cuanto ocurra o acontezca en él, y ello hasta el punto de que seguiría transcurriendo incluso aunque nada aconteciera. Estamos ante el *tiempo absoluto* de Newton, que tampoco es susceptible de medida. Ahora bien, para quienes defienden un tiempo absoluto, no hay que confundir la *realidad* del mismo, independiente del cambio, con su *medida*, siempre subordinada al movimiento (y recíprocamente puesto que, a su vez, la medida del movimiento precisa del tiempo) y, por tanto, relativa.

Al igual que en el caso del espacio, Newton no negó el carácter relacional del tiempo, pero lo relegó a la condición de aparente, fenoménico y vulgar. El verdadero tiempo es el absoluto. Hasta Einstein las concepciones acerca del tiempo físico pueden encuadrarse entre estas dos posiciones antagónicas en lo que respecta a la prioridad del movimiento sobre el tiempo (tiempo relativo) o del tiempo sobre el movimiento (tiempo absoluto). En todo caso, en la mecánica clásica se impuso la concepción newtoniana de espacio y tiempo absolutos, pues, como bien advirtiera Einstein, se trataba de dos andamios sin los cuales no se habría podido construir el imponente edificio de dicha mecánica. Otra cosa es que, como todo andamio, una vez concluida la obra, pudieran y debieran ser retirados.

2. DEL CONCEPTO DE SIMULTANEIDAD DISTANTE A LA FUSIÓN DE ESPACIO Y TIEMPO EN LA TEORÍA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD (TER)

Es bien sabido que la eliminación de los «andamios» newtonianos por parte de Einstein comenzó en 1905 con la teoría especial de la relatividad y prosiguió con la teoría general de la relatividad, en las que, según sus propias palabras, ofrece

«la representación matemática de lo que sucede en el espacio y en el tiempo». Por otro lado, a propósito de la mecánica cuántica, afirmaba décadas después (1940) que «algunos físicos, y yo mismo entre ellos, no pueden creer que debamos abandonar para siempre la idea de una representación directa de la realidad física en el espacio y en el tiempo» (Einstein, 1982: 301-302).

En lo que sigue nos proponemos destacar algunos de los aspectos especialmente relevantes de esa representación del espacio y del tiempo relativista. Posteriormente nos referiremos a ciertas cuestiones planteadas por la teoría cuántica que dan sentido a la protesta de Einstein en el texto citado y que se enmarcan en el contexto del conflicto de fondo actualmente existente entre estas dos grandes teorías físicas del siglo XX.

2.1. **El concepto de simultaneidad distante**

En la ciencia clásica pre-relativista es posible sostener que en cada instante de tiempo están contenidos cuantos eventos se estén produciendo en todos los lugares del espacio, desde los más próximos (en nuestro entorno inmediato) hasta los más apartados, de modo que, con independencia de la distancia espacial que medie entre ellos, tiene sentido decir que han tenido lugar al «mismo» tiempo. Así, en cada instante podemos hablar de un «ahora» que es universal, de un único presente instantáneo, que puede ser calificado como *absoluto* en la medida en que es por completo ajeno al tipo de eventos que acontezcan en él.

Pero si el presente es universal y absoluto, también habrán de serlo el pasado y el futuro, de modo que hubo un instante pasado y habrá un instante futuro en el que se dieron y se darán todos los sucesos que en el universo fueron o serán «a la vez». Ello implica que el tiempo fluye uniformemente, de manera que el principio y el final de cualquier intervalo temporal son idénticos en todas las regiones espaciales; la duración de dicho intervalo es exactamente la misma aquí que en el más apartado rincón del universo (lo cual, por otro lado, coincide por entero con lo que pensamos en nuestra vida diaria). Resumiendo, en la física clásica no hay una definición local de simultaneidad y, por

tanto, subordinada al espacio, sino que la *simultaneidad es absoluta* y, por tanto, también lo son los conceptos de «antes» y «después». Espacio y tiempo son *universales*, es decir, comunes para todos los fenómenos. En consecuencia, una vez elegido el patrón de medida con respecto al cual establecer la *duración de un intervalo temporal* o la *longitud de un intervalo espacial*, ambos son *invariantes* en todo sistema de referencia.

Einstein comenzó revisando dicho planteamiento en el artículo de 1905 en el que se basa la TER a partir del análisis de la noción de simultaneidad, puesto que, según afirma «todos nuestros juicios que implican al tiempo son siempre juicios sobre *sucesos simultáneos*» (Einstein, 2001: 112). Planteando la cuestión, no en abstracto como Newton, sino siempre y en todo caso a partir de la posibilidad de operaciones de medida, el físico alemán estableció que se requieren condiciones distintas para definir la simultaneidad de eventos contiguos que suceden en una región A o en una región B del espacio («tiempo-A» o «tiempo-B»), que cuando se trata de eventos que acontecen en regiones alejadas espacialmente, ya que esto último exige establecer un 'tiempo común' para A y para B. Denominaremos *simultaneidad local* al primer caso y *simultaneidad distante* al segundo.

La posibilidad de dicho tiempo común no había sido puesta en cuestión en el contexto de una concepción pre-relativista del tiempo, por lo que no había que hacer distinción alguna entre simultaneidad local o distante. Así, si en cada lugar del espacio situáramos un reloj y todos los relojes estuvieran debidamente sincronizados, todos darían siempre la misma hora. La cuestión es cómo tendría lugar la sincronización de relojes espacialmente separados. Obviamente se precisa del envío de señales que los pongan en comunicación, y si dichas señales se transmiten de forma instantánea, esto es, si su velocidad es infinita, tal como sucede en la mecánica clásica, la sincronía entre sistemas alejados está garantizada por principio. En ese caso, en efecto, bastaría con un solo reloj, tal como corresponde al hecho de que hay un tiempo común para A, para B y para cualesquiera otros puntos del espacio.

Sin embargo, en la TER la luz se propaga con una velocidad que es finita y además es constante, puesto que es independiente del estado de movimiento del cuerpo emisor. En estas circunstancias la sincronización de relojes distantes, o lo que es equivalente, la definición de simultaneidad con respecto a eventos distantes exige establecer «*por definición* que el 'tiempo' requerido por la luz para viajar de A a B es igual al 'tiempo' que requiere para viajar de B a A». Con ello habría establecido lo que denomina «el tiempo del sistema en reposo», esto es, lo que debe entenderse por relojes sincronizados que se encuentran en reposo en diferentes lugares asimismo en reposo. Pero supongamos ahora que los relojes se hallan en sistemas en movimiento inercial (uniforme y rectilíneo) unos con respecto a otros. En este caso lo que Einstein pondrá de manifiesto es que la velocidad relativa entre dichos sistemas influye hasta el punto de hacer imposible la sincronización de sus respectivos relojes, o lo que es lo mismo, la definición unívoca de dos sucesos como simultáneos en diferentes *sistemas inerciales de referencia*. Y cuanta mayor sea la velocidad relativa entre dichos sistemas, mayor será a su vez el desacuerdo en sus respectivas definiciones de simultaneidad, de manera que dos sucesos que para el observador o sistema de referencia A son simultáneos para el observador o sistema de referencia B transcurrirán uno *antes* y otro *después*, o viceversa. Si la velocidad de la luz pudiera ser cada vez mayor, sin límite alguno, de modo que fuera posible concebirla como infinita (transmisión instantánea), la sincronía entre sistemas alejados no sería problemática. Pero al ser finita y constante, la transmisión de una señal entre sistemas alejados «tarda tiempo», el cual es medido de forma diferente por uno y otro sistema en función de su estado de reposo o de movimiento relativo.

Ello supone que no hay un tiempo único, universal y común para todos los sistemas, sino un tiempo para cada uno de ellos. En efecto, si la simultaneidad es relativa, también ha de serlo el intervalo entre dos simultaneidades, es decir, el *intervalo temporal*, de modo que acontecimientos simultáneos en un sistema de referencia están separados por un lapso de tiempo en

otro. Cuanta mayor sea la velocidad del sistema de referencia, menor será la duración del intervalo temporal: se trata de la famosa *dilatación del tiempo* de la TER, que pone fin a la convicción profundamente arraigada, tanto en la física clásica como en la experiencia ordinaria, según la cual el tiempo transcurre uniformemente y por igual en todos los lugares, por alejados que puedan estar unos de otros1. Hay tantos tiempos como *medidas* de tiempo, y la medida del intervalo temporal depende de las posiciones y de las velocidades relativas de unos observadores con respecto a otros. La idea de un reloj universal es una quimera imposible2.

2.2. **La fusión de espacio y tiempo**

La relativización de la simultaneidad y del intervalo temporal llevará consigo la relativización asimismo de la longitud y del intervalo espacial. En efecto, medir la longitud de un segmento no es sino señalar simultáneamente sus puntos extremos, aplicando una unidad de medida. Ahora bien, de nuevo la cuestión es si observadores vinculados a sistemas de referencias diferentes coincidirán en su apreciación sobre la coincidencia temporal de esos puntos extremos; como es de prever la respuesta es negativa. Y si no coinciden en la determinación de la simultaneidad entre el comienzo y el final del mencionado segmento, tampoco estarán de acuerdo en el resultado de la distancia entre uno y otro, o sea, en la medición de su longitud. En consecuencia, la medición de distancias será dependiente del sistema de referencia desde el que se lleve a cabo.

La noción de distancia espacial no tiene pues un significado físico universal, no es absoluta sino relativa, de modo que toda afirmación acerca de «espacios iguales», lo mismo que acerca de «tiempos iguales», se subordina al sistema de referencia. Ello no implica que varíen los resultados de las mediciones de longitud o del intervalo temporal dentro de un mismo sistema de referencia sino que la disparidad se introduce al comparar las respectivas mediciones llevadas a cabo por observadores distintos en estados de movimiento distintos (con velocidades que sean relevantes con respecto a la velocidad de la luz). En definitiva, las longitudes no son invariables de modo que la

distancia entre el comienzo y el final de un intervalo espacial no es la misma en todo sistema de referencia. En esto consiste la *contracción de longitudes* propia de la TER.

Resumiendo, no es posible establecer una simultaneidad distante entre sistemas inerciales de referencia, de modo que carece de sentido afirmar que a sucesos instantáneos en una región del espacio han de corresponder sucesos instantáneos en cualquier otra región del espacio. Muy al contrario, puesto que la duración del intervalo temporal varía de una a otra, solo es posible hablar de simultaneidad especificando la parte de espacio a la que se aplica. Y a su vez la determinación de las distancias espaciales depende de la determinación de simultaneidades.

Todo ello da idea de una nueva fusión de espacio y tiempo en un *continuo espacio-temporal*, una vez que ya no resulta posible una configuración instantánea del universo en términos puramente espaciales. Toda configuración será espacio-temporal y, por tanto, tetradimensional (tres dimensiones espaciales y una temporal ahora indisociables). Estamos ante un *universo tetradimensional* representado geométricamente por Hermann Minkowski en 1908.

3. LA GEOMETRÍA DEL UNIVERSO EN LA TEORÍA GENERAL DE LA RELATIVIDAD (TGR)

Hasta aquí la física relativista, en abierta oposición a la representación espacio-temporal intuitiva propia de la experiencia ordinaria, y también de la ciencia clásica, ha conducido a la eliminación de un tiempo único universal que abraza todos los fenómenos, así como a su fusión con el espacio en un continuo tetradimensional, proceso en el que dicho tiempo ha perdido lo que supuestamente le era más consustancial: el hecho de fluir desde el pasado hacia el futuro. El universo no «deviene» sino que sencillamente «es», dado que tan relativa es la distinción pasado-futuro como la de derecha-izquierda.

Nos vemos pues inmersos en un universo de cuatro dimensiones, pero que aún no ha renunciado a otra característica fundamental de la representación espacial

intuitiva como es el hecho de ser euclídeo (o pseudo-euclídeo, puesto que el universo de Minkowski no cumple todos los postulados de la geometría de Euclides). Es conocido que en el camino que inicia Einstein en 1907 y que le conduce a generalizar el principio de relatividad desde sistemas inerciales a sistemas no inerciales de referencia, las geometrías no euclídeas harán su entrada en la física.

Puesto que en la mecánica newtoniana los sistemas no inerciales o acelerados obedecen a la acción de la fuerza de gravitación, Einstein habrá de tomar ahora en consideración dicha noción de fuerza, así como la materia (masa inercial y masa gravitatoria). Ello conducirá a una nueva fusión, no ya del espacio y del tiempo sino del espaciotiempo con la materia, y será en el contexto de esta segunda fusión en el que definitivamente se pondrá en cuestión la identidad estructural entre el mundo de la percepción y el mundo físico.

3.1. **La fusión de la materia y el espacio-tiempo**

Según afirma Einstein, una de las características de la física newtoniana es la necesidad de adjudicar existencia *independiente* al espacio, al tiempo y a la materia. Pero incluso en la TER el continuo de cuatro dimensiones que ahora forman espacio y tiempo sigue siendo «un componente independiente en la descripción de la realidad física», «lo que queda como residuo cuando en nuestro pensamiento hacemos desaparecer la materia y el campo». De lo que se trata ahora es de poner de manifiesto que el espacio-tiempo, con sus propiedades métricas, no tiene una existencia previa con respecto a la materia, de modo que no cabe separar el espacio de aquello que lo llena. Y ello hasta el punto de que si el campo gravitatorio es eliminado, no queda *nada*, puesto que no existe un espacio sin campo, esto es, un espacio *vacío*. En resumen, «el espacio-tiempo no reivindica para sí una existencia propia, sino que reclama la categoría de cualidad estructural del campo». Descartes no andaba tan desencaminado puesto que «no existe espacio *vacío de campo*» (Einstein, 1981: 326, 336-7, 340-1).

La gravitación newtoniana es una fuerza instantánea de acción a distancia, responsable de que los cuerpos no se

comporten inercialmente; de lo contrario los planetas, por ejemplo, en vez de girar en torno al Sol cumpliendo las leyes de Kepler, se desplazarían con movimiento uniforme y rectilíneo, alejándose unos de otros y haciendo imposible cualquier tipo de universo estructurado. Sin duda la asombrosa eficacia de la ley de gravitación universal permitió que esta se impusiera a pesar de que conceptualmente distaba mucho de ser inteligible una noción como la de fuerza de gravitación que era concebida como fuerza de *atracción* que opera instantáneamente *a distancia*. Tras la formulación de la TER, difícilmente podía seguir aceptándose una fuerza de estas características cuando la luz había pasado a ser el mensajero más veloz físicamente posible, esto es, cuando ningún cuerpo podía actuar sobre otro en un único instante. Así, tras la formulación de la teoría de los campos electromagnéticos de Maxwell, que Einstein había hecho compatible con un principio de relatividad en la TER, de lo que se trataba ahora era de hallar una teoría del campo gravitatorio asimismo compatible con un principio de relatividad generalizado para sistemas no inerciales (TGR).

Sin entrar en el modo como Einstein llega a formular esta tesis, lo fundamental estriba en que, en vez de considerar como Newton que la métrica del espacio es invariante y el comportamiento no inercial de los cuerpos se debe a la acción de una fuerza con sede en la propia materia, que se transmite a través del espacio, el físico alemán establecerá que la gravitación es una propiedad del espacio-tiempo mismo, de modo que ya no procede distinguir entre la acción que se propaga y el medio vacío en el que se propaga. Es decir, se encomienda a la geometría la tarea que hasta ahora tenía a su cargo la dinámica.

Ahora bien, ¿de qué geometría se trata? La pregunta no procedería con anterioridad a la aparición de las llamadas geometrías no-euclídeas en el siglo XIX[3], pero en la segunda década del siglo XX Einstein está en condiciones de preguntarse, entre las geometrías matemáticamente posibles, cuál corresponde de hecho a la métrica del espacio físico de nuestro universo. En efecto, conforme a la TGR solo cuando el campo

gravitatorio es nulo puede aplicarse la métrica del espacio euclídeo, que por definición es plano o sin curvatura (de ahí que las tres direcciones del espacio se representen mediante tres rectas); en caso contrario se produce una deformación del espaciotiempo que ha de ser descrita mediante una métrica no-euclídea como es la de la geometría de Bernard Riemann. Y cuanto mayor sea la intensidad de dicho campo, debido a la presencia de cuerpos de gran masa (como en las proximidades del Sol), mayor será la curvatura del espacio-tiempo, esto es, su alejamiento del tipo de propiedades que caracterizan al espacio euclídeo.

Pues bien, es esa curvatura la responsable de las trayectorias no inerciales de los cuerpos (y de los rayos de luz), sin necesidad de suponer ningún tipo de entidad ajena al espacio-tiempo como es la fuerza de gravitación. Materia y espacio-tiempo son inter-dependientes. En consecuencia, ya no cabe hablar de una estructura métrica fija e invariable puesto que la curvatura del espacio-tiempo varía de lugar en lugar en función de la densidad y distribución de las masas. Por otro lado, la contracción de longitudes y la dilatación de los intervalos temporales (acortamiento de las varillas métricas y retraso de las marchas de los relojes) se producen asimismo en presencia de campos gravitatorios o, lo que es equivalente en la TGR, en sistemas acelerados sin gravedad. Si en la TER espacio y tiempo pierden su mutua independencia para fusionarse en un continuo espacio-tiempo, ahora es este último el que la pierde con respecto a la materia. Estamos ante un universo tetradimensional no-euclídeo con importantes consecuencias cosmológicas.

3.2. **GEOMETRÍA Y COSMOLOGÍA**

Tras publicar en 1916 *Los fundamentos de la teoría general de la relatividad*, al año siguiente Einstein presentaba sus implicaciones para la cosmología en otro artículo titulado *Consideraciones cosmológicas sobre la teoría general de la relatividad* (ambos artículos están incluidos en: Lorentz-Einstein-Minkowski, 1990), a partir del cual la teoría relativista de la gravitación se convirtió en el marco teórico desde el que

interpretar los nuevos datos empíricos obtenidos a lo largo del siglo XX sobre el universo estelar, comenzando por la recesión de las galaxias planteada en 1929 por Hubble a partir de la observación de su corrimiento al rojo. Ahora bien, puesto que la serie de ecuaciones tensoriales que describen la curvatura del espacio-tiempo en función de la intensidad de los campos gravitatorios admite diferentes tipos de soluciones, el modelo de universo teórico resultante puede tener unas características u otras. Decidir entre esos universos posibles es una cuestión empírica que tuvo y tiene ocupados a los cosmólogos desde hace un siglo.

En efecto, las ecuaciones de Einstein permiten tipos de universo estacionario, en el que la curvatura del espacio no varía con el tiempo, como también tipos de universo variable, en el que dicha curvatura sí varía. Entre los primeros se cuentan el que el propio Einstein estableciera en 1917 y el de De Sitter, del mismo año; conforme a los segundos, el radio de curvatura del mundo puede aumentar de manera continua (expansión acelerada) o de manera periódica, incrementándose hasta un cierto valor a partir del cual cambia el sentido y comienza a disminuir hasta un punto en el que vuelve a aumentar (expansión a la que sigue una contracción y así sucesivamente). Se suelen denominar «abiertos» a los universos en expansión constante y «cerrados» a los que sufren un proceso de expansión-contracción. A los primeros corresponde una curvatura positiva del espacio-tiempo, a los segundos una curvatura negativa[4]. Pero la curvatura podría ser también cero o próxima a cero, en cuyo caso el universo sería plano. Ello a su vez depende de ciertos parámetros relativos a la densidad de masa (de masa y energía, incluyendo las denominadas «masa oscura» y «energía oscura», puesto que las visibles solo representan un 4% del total). Desde luego, la opción por uno u otro tipo de universo no es un tema cerrado en la actualidad, si bien un número de voces cada vez mayor parece inclinarse por un universo plano.

Dadas las características del presente capítulo no es posible adentrarse con mayor detalle en la cosmológica contemporánea.

En todo caso lo relevante desde una perspectiva teórica es el hecho de que la métrica del espacio-tiempo depende del fenómeno de la gravitación y, en consecuencia, la cuestión acerca de la geometría del mundo se ha convertido en un problema experimental. Cosmología y geometría están estrechamente vinculadas entre sí, o mejor, la geometría ha pasado a subordinarse a una ciencia empírica como es la cosmología.

4. **LA PROBLEMÁTICA REPRESENTACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LOS FENÓMENOS CUÁNTICOS**

Pasando ahora de la teoría de la relatividad a esa otra gran teoría física del siglo XX que es la mecánica cuántica, aun cuando no es originariamente una teoría que tenga como objetivo responder a interrogantes referidos a la representación espacio-temporal de los fenómenos, lo cierto es que ha suscitado serios interrogantes sobre dicha representación cuando se trata de órdenes de magnitud muy pequeños.

4.1. **TRAYECTORIAS DISCONTINUAS**

En primer lugar, puede señalarse la *discretización de las trayectorias* que acompaña al principio de indeterminación de Heisenberg. En principio parecería que todo móvil ha de tener siempre una *localización precisa en el espacio y en el tiempo*, pues no puede dejar de estar en cada instante en una *posición*, y tener asimismo una *velocidad bien definida*. Y si dicho móvil en todo tiempo está en un lugar, cualquier desplazamiento se realizará atravesando todos y cada uno de los lugares intermedios, esto es, de manera continua. Puede pues afirmarse que en un contexto clásico (que aquí tiene el sentido de no-cuántico), las trayectorias son siempre *continuas* y pueden representarse como una serie continua de puntos infinitamente próximos (por muy aporético que esto sea, tal como puso de manifiesto Zenón). Por otro lado, la determinación completa del estado de un sistema viene dada por la asignación de valor bien definido a ciertos pares de magnitudes (denominadas magnitudes conjugadas) en un tiempo dado, así como su evolución en todo tiempo anterior o posterior. En ello se basa la formulación del principio de determinación de Laplace.

Sin embargo, en 1927 Heisenberg formula su *principio de indeterminación* (también denominado *relaciones de incertidumbre*), en el que se fija un límite máximo a la posibilidad de asignar simultáneamente valor bien definido a esos pares de magnitudes que en la mecánica clásica fijaban el estado de un sistema, tales como posiciónvelocidad o energía-tiempo, de modo que cuanto más precisamente se obtiene el valor de una de ellas más se indetermina la otra y viceversa. En consecuencia, deja de tener sentido físico afirmar que en cada instante de tiempo un móvil —un electrón, por ejemplo— ocupa una posición en el espacio, ya que, por principio, no es posible atribuirle simultáneamente posición y velocidad con valor bien definido. A partir de aquí, como cabría esperar, Heisenberg manifestará que la noción de *trayectoria* ha dejado de corresponder a una línea continua infinitamente delgada, para convertirse en una sucesión discreta de puntos a distancias finitas. Eso significa que ya no cabe dar cuenta del recorrido espacial de un móvil en términos de la ocupación sucesiva de lugares infinitamente próximos. Si dibujáramos un gráfica, no obtendríamos una curva sino una serie de puntos separados, sin posibilidad de ser unidos por un trazo continuo. En consecuencia, no podemos representarnos pictórica o intuitivamente la trayectoria espacial de un electrón en el interior del átomo, lo cual coincide plenamente con la imposibilidad de hablar de «órbitas» electrónicas conforme al modelo cuantizado de Niels Bohr.

4.2. **TRAYECTORIAS SUPERPUESTAS**

En segundo lugar, experimentos como el de la doble rendija ponen de manifiesto que en un cierto sentido probabilitario, sin parangón ni en la experiencia ordinaria ni en la física clásica, puede hablarse de *trayectorias superpuestas*, esto es, trayectorias diferentes atribuibles a un único móvil simultáneamente. Para ello hay que introducir el llamado *principio de superposición de estados* que rige en general para los objetos cuánticos en tanto no son registrados, es decir, en tanto no interactúan con un aparato de medida. En la interpretación ortodoxa o estándar de la mecánica cuántica (interpretación de Copenhague) liderada

por Bohr y Heisenberg es precisamente a consecuencia de la operación de medida cuando el sistema se decanta aleatoriamente por uno de esos estados superpuestos. Así, en el caso de las trayectorias superpuestas, tras la operación de medida el objeto pasa a recorrer una sola de las trayectorias posibles, en concreto la que registra el aparato.

Una explicación más precisa de este hecho requeriría referirse a la función de onda Ψ, la cual satisface o es solución de la denominada *ecuación de Schrödinger5*. Dicha ecuación es la que rige la evolución del estado de los sistemas no registrados, evolución que se interrumpe «bruscamente» con ocasión de la operación de medida (colapso de la función de onda). Estamos pues ante dos *procesos de evolución temporal* completamente diferentes según se trate de lo que Reichenbach llama «interfenómeno» (estado del sistema entre dos operaciones de medida) o «fenómeno» (estado del sistema medido): el primero, regido por la ecuación de Schrödinger, es determinista, continuo y reversible; el segundo es aleatorio, discreto e irreversible.

Volviendo a la cuestión de las trayectorias superpuestas, en definitiva ello supone que, según ejemplo de Heisenberg, a un electrón localizado en una gota de agua (cuyo volumen es mucho mayor que el del electrón), en tanto no sea observado, habría que situarle en todas las posiciones dentro de dicha gota, las cuales «colapsan» al iluminarlo para observarlo, y es entonces cuando pasa a estar en un única y concreta posición (la que de hecho se observa). Y lo mismo sucede con la velocidad (siempre dentro del límite impuesto por el principio de indeterminación). Ello implica que la posición del electrón *no precede* a la operación de medida sino que es consecuencia de ella.

En definitiva, si conforme a lo dicho en el epígrafe 4.1, un objeto cuántico no siempre está en un lugar, de lo establecido ahora se deriva que puede estar simultáneamente en varios lugares a la vez (insistimos que en un sentido probabilitario no asimilable a nada de cuanto nos es familiar) a condición de no ser observado. De nuevo constatamos la extrema problematización de la noción de trayectoria y, en consecuencia,

de la representación espacio-temporal de los fenómenos cuánticos, situación que el principio de no-localidad no hará sino agravar.

4.3. **Principio de no-localidad**

Hasta aquí nos hemos referido al principio de superposición de estados, así como a la pérdida de dicha superposición a consecuencia de la operación de medida, por referencia a *una sola partícula*, pero el planteamiento es también aplicable a *dos partículas* que hayan interaccionado entre sí en un momento anterior, lo cual nos conduce al llamado *principio de no-localidad*. Partamos de un sistema inicial, regido por la ecuación de Schrödinger, que es escindido en dos subsistemas S1 y S2 los cuales, tras interactuar durante un cierto tiempo, son alejados espacialmente uno de otro tanto como sea necesario para garantizar que no haya posibilidad alguna de interacción entre ellos. Puesto que el sistema inicial se halla en superposición de estados, una vez que son *separados*, solo la operación de medida puede asignar valor bien definido a sus propiedades observables. Y la cuestión es que dicha operación de medida, realizada sobre uno de los dos subsistemas, afecta *instantáneamente y a dis*tancia al otro pese a estar espacialmente separados. Ello querría decir que, pese a que S1 y S2 ya no interactúan, se produce un cambio en el estado de S2 a consecuencia de una operación de medida realizada únicamente sobre S1 (y viceversa). A esta correlación instantánea a distancia entre los parámetros de dos sistemas cuánticos separados o localizados lejos uno de otro se denomina *principio de no-localidad.*

Con frecuencia se ha planteado si ello viola la teoría de la relatividad, pero lo cierto es que no hay ningún envío de señal; no se produce transmisión de información a velocidades superlumínicas, porque en realidad no estamos ante *dos sistemas independientes* que se ponen en comunicación violando el postulado de la constancia de la velocidad de la luz, sino más bien ante dos sistemas correlacionados de modo no clásico, cuyos estados se hayan *entrelazados* de modo tal que se comportan como uno solo, no importando lo alejados que se hallen entre sí. Ello quiere decir algo fundamental desde el

punto de la vista de la representación espacio-temporal: *la distancia espacial no juega ningún papel*. Por ello Einstein, que no podía aceptar este planteamiento (su aceptación generalizada por parte de la comunidad científica será posterior a su muerte), afirmó en el texto citado con anterioridad: «algunos físicos, y yo mismo entre ellos, no pueden creer que debamos abandonar para siempre la idea de una representación directa de la realidad física en el espacio y en el tiempo» (Einstein, 1982: 302).

Los sistemas cuánticos no son separables localmente, lo que lleva a afirmar un *principio de no-separabilidad*. Esto representa una seria amenaza a la posibilidad de seguir considerando que, por el hecho de estar situados en regiones distintas de espacio, los objetos constituyen *entidades independientes*, puesto que esa correlación entre partículas cuánticas no permite separarlas localmente. Asimismo pone en cuestión, tanto la *concepción local de la causalidad*, como el papel que la noción de *distancia espacial* había jugado clásicamente. Si la separabilidad se viola y, por tanto, el hecho de que se hallen contiguos o distantes es irrelevante ¿puede considerarse que los objetos cuánticos están individualizados como lo están los objetos de experiencia ordinaria o de la física clásica?

En el fondo el principio de no-separabilidad atenta contra la forma atomista de mirar la Naturaleza en cuanto *todo divisible en partes*, cada una de las cuales ocupa siempre un lugar fuera del que ocupan las restantes (partes *extra* partes), siendo dicha localización la que permite identificarlas como *existentes por sí mismas, separadas* y *autónomas*. Prosiguiendo con este razonamiento el físico David Bohm planteó en la década de los ochenta del siglo XX la hipótesis del universo como un *todo indiviso* debido a la interacción y consecuente entrelazamiento de todas sus partes a causa de su origen cosmológico común (Bohm, 1987).

De nuevo resuena la protesta del gran teórico del espacio y del tiempo que fue Einstein, quien en 1948 afirmaba lo siguiente: «Lo que consideramos que existe (es «real») debe estar localizado de alguna manera en el tiempo y en el espacio», lo

que garantiza su mutua existencia independiente. Por tanto, el objeto que se halle en una parte B del espacio no puede depender de la naturaleza de la medida efectuada sobre otro objeto que se halle en otra parte A del espacio. Y si renunciamos a esta hipótesis, «no veo entonces qué es lo que la física debería describir. En efecto, lo que entendemos por «sistema» es puramente convencional, y no sé cómo podría dividirse el universo objetivamente de modo que pudieran describirse sus partes» (Einstein-Born, 1973: 207-208).

Lo cierto es que, pese a la aparente sensatez del punto de vista de Einstein, lo acontecido en la segunda mitad del siglo XX no permite suscribir sus palabras. El principio de no-localidad ha quedado firmemente establecido, primero en experimentos mentales y luego en experimentos reales. En consecuencia, el modo de localización de los objetos cuánticos poco tiene que ver con el de los objetos clásicos, entendiendo por tal el descrito tanto por la física clásica como por la física relativista.

5. **REFLEXIONES FINALES**

Si hasta el siglo XX puede afirmarse, en líneas generales, que el planteamiento acerca de espacio y tiempo osciló entre lo que podemos denominar (empleando una terminología newtoniana y, por tanto, anacrónica en contextos previos) una concepción absoluta o relativa de uno y otro marco de referencia, con la teoría de la relatividad se lleva a cabo un proceso de relativización que va mucho más allá de todo lo previsto con anterioridad, comenzando, según se ha visto, por la noción de simultaneidad y finalizando con la subordinación de la métrica del espacio-tiempo a la materia, subordinación que deja abierta la cuestión cosmológica acerca del modelo de universo. En todo caso espacio y tiempo no son independientes de la materia. Ello implica que no ha lugar a defender, como hiciera Newton, el comienzo de la existencia del universo *en* un espacio y en tiempo previos, dado que estos no poseen ningún tipo de anterioridad, ni lógica ni ontológica, con respecto a los cuerpos. El origen de la materia es también el del espacio-tiempo.

En segundo lugar, conviene destacar la pérdida de unicidad de la noción de espacio tras la introducción de espacios

abstractos[6], con un número adicional de dimensiones, lo que conduce a distinguir entre espacio físico y espacio geométrico. En efecto, en el contexto clásico, las propiedades métricas del espacio geométrico (descrito por el sistema deductivo de Euclides), del espacio físico y del espacio de la percepción y de la imaginación son coincidentes. No obstante, tras la formulación de las geometrías no-euclídeas en el siglo XIX, lo que la teoría de la relatividad introduce es la necesidad de decidir, entre los espacios lógicamente posibles, cuál es aplicable a la Naturaleza, esto es, cuál tiene validez empírica.

Al multiplicarse las métricas posibles del espacio, la geometría pasa a ser la ciencia de cuantos espacios abstractos son lógicamente posibles, sin que sus axiomas precisen ser evidentes, y es la investigación empírica (como la llevada a cabo por Einstein) la encargada ahora de decidir cuál de ellos es susceptible de ser considerado espacio físico. Ahora bien, puesto que la decisión acerca de la geometría del mundo basada en datos empíricos no conlleva que la fundamentación de los teoremas geométricos sea asimismo empírica (salvo concepciones pragmatistas o neopragmatistas de la matemática), resulta muy pertinente la distinción propuesta por Carnap en 1966 entre geometría matemática y geometría física. La primera es un sistema deductivo basado en ciertos axiomas que no deben ser interpretados como referidos a algo existente en el mundo; se trata de una disciplina analítica de estructura meramente lógica. La segunda se ocupa de la aplicación de la geometría matemática al mundo, pero en este caso precisa de la investigación experimental; estamos, por tanto, ante una disciplina empírica que carece de la certeza lógica de la anterior (Carnap, 1969: 243-246).

Einstein, por su parte, había establecido una distinción parecida cuando, en una conferencia pronunciada en 1921, había diferenciado entre la *geometría puramente axiomática* y la *geometría práctica* concebida como una ciencia natural. La primera es de carácter estrictamente lógico-formal y «nada tiene que ver con lo intuitivo», ya que *define* los objetos de los que habla sin presuponer conocimiento ni intuición de esos objetos[7]

y sin poder afirmar nada acerca del comportamiento de los cuerpos. La segunda, en cambio, es la que ha de pronunciarse sobre esto último, si bien para ello ha de ser desprovista de ese carácter lógico-formal y convertida en una ciencia empírica basada en la experiencia (Einstein, 1982: 207).

Lo anterior nos conduce, en tercer lugar, a la incompatibilidad entre la representación espacio-temporal intuitiva de los fenómenos, propia de la experiencia diaria y de la física clásica, y la representación matemática que va desde el universo tetradimensional de Minkowski a los espacios abstractos de configuración n-dimensionales de la mecánica cuántica, pasando por la pérdida de la métrica euclídea del espacio-tiempo de la TGR. En efecto, en la ciencia del siglo XX lo *formal* irrumpe con fuerza frente a lo *intuitivo*, quebrando la identidad estructural entre el mundo de la percepción y el mundo físico. En la medida en que no son el espacio y el tiempo de la intuición sino más bien los distintos espacios abstractos los que tienen validez empírica (contra todo pronóstico hasta principios del siglo XX), el nada trivial problema que a continuación se suscita es si la prioridad epistémica debe corresponder al conocimiento inmediato que emana de la percepción o al conocimiento formal matemático propio de la ciencia contemporánea. ¿Debe primar la concepción fenomenológica de espacio y tiempo o, por el contrario, la que deriva de las leyes fundamentales de la física? Diversas respuestas son posibles.

En general la comunidad científica se ha decantado por negar que la creencia *natural* que emana de la percepción haya de marcar la pauta. Así, con frecuencia se ha estimado que cualquier demanda como la de Bergson en 1922, en la que reclamaba la prioridad ontológica y epistemológica de un tiempo *real* (el de la simultaneidad absoluta) frente a cualquier tiempo relativo, no pasa de ser una exigencia de carácter psicológico que no debe ser atendida por la física. Esto es especialmente significativo en el caso de la irrenunciable vivencia, desde el punto de vista psicológico, del paso del tiempo del pasado al futuro, a la que nos referiremos poco

después.

En el extremo contrario, hallamos ciertas posiciones filosóficas que reclaman la preeminencia de lo dado en la experiencia inmediata, negando, en consecuencia, toda posibilidad de tomar los datos ofrecidos por la ciencia como punto de partida de la reflexión filosófica. Es evidente que en ese caso la deriva de la ciencia en el siglo XX solo puede contribuir al alejamiento entre ciencia y filosofía. En este contexto habría que situar la distinción bergsoniana entre filosofíaintuición, por un lado, y ciencia-inteligencia, por otro, o también la apuesta de Husserl por el carácter originario del «mundo de la vida» frente al mundo de objetos construidos por la ciencia.

Pero también la cuestión ha resultado muy problemática para las filas empiristas y positivistas. Así, por ejemplo, si en principio la teoría de la relatividad fue muy bien acogida por autores como Mach, debido a la eliminación de los absolutos de Newton y a la definición operacionalista de longitudes y tiempos llevada a cabo por Einstein, posteriormente la fusión de espacio y tiempo en un continuo espaciotiempo de cuatro dimensiones en la TER y, peor aún, la pérdida de la métrica euclídea del espacio en la TGR, representaron un monumental desafío para todo tipo de programa fenomenalista. Así, mientras unos (como el propio Mach) optaron por la ruptura con las posiciones de Einstein por defender este último una concepción de espacio y tiempo incompatible con la percepción, otros aceptaron las tesis relativistas pero tratando de mantener la identidad estructural entre ese espacio y tiempo de la percepción y el de la física. Autores como Whitehead y Russell, y también Carnap, dedicaron importantes esfuerzos a solventar este problema, si bien la teoría de la relatividad se mostró inasequible a ese programa fenomenalista en principio defendido con tanta convicción por el Círculo de Viena y el positivismo lógico8.

Entre las dos posiciones extremas, por un lado, de quienes hacen caso omiso de toda convicción derivada de la experiencia ordinaria y el sentido común y, por el otro, de los que renuncian

a cualquier dato proveniente de la ciencia como originariamente relevante, merece la pena mencionar las tesis del Premio Nobel de Química (1977), Ilya Prigogine, quien, muy influido por Bergson, ha hecho bandera de la *restitución del papel del tiempo* en la descripción de los sistemas físicos, en consonancia con nuestra experiencia más inmediata. A diferencia del filósofo francés, sin embargo, aboga porque esa restitución no se haga solo desde la filosofía al margen de las ciencias, sino precisamente desde la propia ciencia. Defenderá así que las teorías científicas deben asumir lo que Eddington denominó en 1937 la «flecha del tiempo», esto es, es el paso del tiempo en la dirección pasado-futuro, o en términos de Prigogine, «el papel del tiempo en tanto que vector de irreversibilidad» (Prigogine, 1997: 66).

En las mecánicas relativista y cuántica, y también en la mecánica clásica, las ecuaciones tienen soluciones válidas tanto para un tiempo que avanzara en la dirección pasado-futuro (+t), como para un tiempo que fluyera en la dirección futuro-pasado (-t), lo cual quiere decir que los procesos mecánicos son simétricos en el tiempo, de modo que la irreversibilidad temporal no es objetiva. Pareciera, en principio, que los procesos termodinámicos sí son asimétricos (a diferencia de un péndulo que se mueve indiferentemente en cualquier sentido temporal, el café siempre se enfría espontáneamente en la taza, nunca se calienta), lo que permitiría restablecer la irreversibilidad del tiempo. Sin embargo, ello no es así dado el carácter probabilitario del segundo principio de la termodinámica (la dirección pasado-futuro es solo la más probable, la que conduce al máximo equilibrio termodinámico, pero los procesos siguen siendo simétricos en el tiempo).

Por ello Prigogine pone la mirada en la denominada *termodinámica de los procesos alejados del equilibrio*, que dan lugar a *estructuras disipativas*, en las cuales el aumento de entropía (disipada o trasladada al entorno) es compatible con la creación de organización a través de procesos complejos no-lineales denominados de *autoorganización*. Sería así posible, sin violar el segundo principio de la termodinámica, hablar de

creación espontánea de orden (células, organismos, galaxias), lo que supone la ruptura de la simetría temporal y, por tanto, la introducción de la *irreversibilidad del tiempo*, en contra de lo que sucede en los sistemas mecánicos. En definitiva, para Prigogine es en el terreno de los *sistemas complejos* donde el tiempo puede recuperar su papel, permitiendo la emergencia de la diferencia entre pasado y futuro, posibilitando la conciliación en este ámbito entre la experiencia ordinaria y la científica y, en último término, sellando una «nueva alianza» entre el hombre y la naturaleza (Prigogine; Stengers, 1983).

Con independencia del mayor o menor grado de aceptación de este punto de vista antirreduccionista de la termodinámica con respecto a la mecánica, no cabe duda de que las ciencias de la complejidad (*termodinámica de los procesos alejados del equilibrio, teoría del caos, geometría fractal*) tendrán cada vez un mayor protagonismo con consecuencias para la concepción de espacio y tiempo.

En cuarto y último lugar, no puede dejar de subrayarse la existencia de importantes aspectos antitéticos en la representación espaciotemporal de los fenómenos relativista y cuántica que constituye un verdadero desafío, tanto desde el punto de vista científico como filosófico. Es posible que una futura teoría cuántica de la gravitación logre conciliar ambos aspectos, pero a día de hoy parece inevitable convivir con esa antítesis. En efecto, la teoría de la relatividad es una teoría causal, local, en la que rige el clásico principio de continuidad según el cual «la Naturaleza no da saltos». De ahí, que las trayectorias geodésicas de la TGR por supuesto sean continuas y, en consecuencia, no presenten problema alguno a la idea de recorrido espacio-temporal de un móvil. Por el contrario, conforme a la interpretación ortodoxa o estándar, la teoría cuántica es probabilitaria, no-local y viola el principio de continuidad. En lo que a las trayectorias se refiere, pasan a ser discretas, lo que equivale a eliminarlas. Por tanto, no solo el principio de no-localidad supone una seria amenaza para la descripción espacio-temporal de los fenómenos, sino que dicha amenaza ha estado presente desde el momento mismo en que

Bohr introdujo los números enteros en el modelo de átomo haciendo uso de la ecuación de Planck (1913). Es cierto que otras interpretaciones de la mecánica cuántica tratan de recuperar la noción de trayectoria espacial, como en el caso de la teoría de variables ocultas no-local conocida como mecánica bohmiana9, lo cual facilitaría enormemente un problema que la teoría cuántica arrastra desde los años veinte y que consiste en la necesidad de facilitar el «paso» de los espacios abstractos de configuración n-dimensionales al espacio de la percepción, punto obligado de llegada puesto que, por decirlo de manera gráfica, los laboratorios no se nos dan sino en este último espacio. Pero también es cierto que si hay en la actualidad una cuestión abierta y sujeta a debate, que no ha alcanzado un generalizado consenso, es precisamente la de la interpretación de la mecánica cuántica. Prueba de ello es que ninguna de las alternativas a la estándar ha penetrado en los planes de estudios de las facultades de Física. En último término, como se indica en el capítulo 4 de esta obra, lo que está en juego es la difícil transición del mundo cuántico al clásico, problema que constituye uno de los mayores desafíos que la ciencia del siglo XX ha legado a la del siglo XXI.

---

1 Puesto que los estados de reposo y de movimiento son relativos, los efectos de dilatación del tiempo son intercambiables. Así, tanto el observador A como el B considerará que es el reloj del «otro» el que atrasa. En definitiva, todo ello no es sino la consecuencia de asumir que no hay ningún sistema privilegiado de referencia.

2 Recomendamos la lectura de la obra de Galison, que pone en relación el enfoque físico y filosófico del tema de la simultaneidad con la tecnología de los relojes electrocoordinados de principios del siglo XX encaminada a establecer algo tan habitual hoy como la sincronización de relojes en cualquier parte del mundo (puertos, aeropuertos, estaciones de ferrocarril, etc., próximos o distantes) (Galison, 2003).

3 Sobre las geometrías no euclídeas, ver: Carnap, 1969: capítulo XIV.

4 Sobre los conceptos de curvatura positiva y negativa, ver nota 3.
5 La función de onda ψ no evoluciona en el espacio de la experiencia ordinaria sino en un espacio de Hilbert, con 3 dimensiones por cada grado de libertad del sistema. Por otro lado, se trata de una función compleja, o sea, se expresa mediante números complejos, y no mediante números reales, de modo que no estamos ante una vibración física en el sentido usual del término. Más bien, estamos ante una *onda de probabilidad*, según Max Born, al interpretar así el cuadrado del módulo de la función de onda.
6 De hecho ya desde finales del siglo XVIII, en la mecánica lagrangiana y hamiltoniana se había hecho uso de espacios abstractos, con un número de dimensiones dependiente del número de grados de libertad del sistema, si bien a título de mera herramienta de cálculo.
7 Su concepción de la «geometría puramente axiomática» parte de la establecida por Hilbert en su obra *Fundamentos de la geometría* de 1899, en la que los conceptos de «punto», «recta» etc. no son objetos de conocimiento intuitivo alguno sino meros esquemas conceptuales vacíos, como afirma el propio Einstein.
8 Sobre la recepción de la teoría de la relatividad en los orígenes del positivismo lógico, ver: García-Raffi, 2011.
9 En 1988 el físico Aharanov y su equipo han propuesto un nuevo concepto cuántico de medida denominado «medida débil» que permitiría asimismo recuperar la noción de trayectoria, coincidiendo con la mecánica bohmiana. Sobre este tema ver: Miret, 2015: 98-101.

III. **Materia y energía**[1]

Manfred Stöckler[2]
Universität Bremen

1. **INTRODUCCIÓN**

Los conceptos de materia y energía poseen múltiples significados en la vida cotidiana y en la ciencia. Mientras que «materia» en sus diversas variantes constituyó un concepto básico desde el mismo inicio de la filosofía de la naturaleza, el concepto de «energía» fue puesto en circulación primeramente en el contexto del desarrollo de la mecánica clásica, y fijado luego terminológicamente como concepto físico más general. En la segunda mitad del siglo XIX tiene lugar un contraste entre materia y energía importante desde el punto de vista de la filosofía de la naturaleza. En la denominada «energética» se concibe incluso la energía como entidad fundamental, a la que pueden reducirse todos los sucesos materiales. A diferencia de cómo se planteó en ese especial debate metafísico, actualmente se concibe la energía (en sentido físico) como una propiedad de la materia (en sentido filosófico).

El término «materia» (material a partir del que se produce algo) es una palabra latina (que significa «madera», «madera de construcción», «provisión», «objeto de consideración»), que Cicerón emplea en contextos filosóficos para traducir la expresión griega *hyle*. De hecho, *hyle* se emplea en griego desde Homero igual que la palabra latina materia, para designar la madera utilizable y las provisiones, así como también el trenzado (Grimm, 1999, 12, 1751-1753; 19, 140-161). En la filosofía de la naturaleza, en la metafísica y en la física se emplea el concepto de materia en general para designar un material a partir del cual se producen las cosas, y en el que consisten las cosas. En este sentido materia y material son también lo formable y lo determinable, que pertenece al mundo corporal, visible. Materia y material son consideradas primariamente como contraparte de la forma, pero también de la idea, el espíritu, la fuerza y la radiación.

La palabra «energía» procede del término griego «*energeia*», con el que Aristóteles, en el contexto de su captación conceptual del cambio, designa la activa realización de una posibilidad. En la tradición latina se traduce ese concepto con el término «acto». En el marco de la mecánica clásica, que desarrolla frente a Aristóteles una nueva concepción del cambio y el movimiento, la energía designa primeramente fuerza en general, y luego, más precisamente, la capacidad de un sistema físico de realizar trabajo.

La materia y la energía se convierten en un tema de la filosofía de la naturaleza cuando esta investiga, como metafísica de la naturaleza, los conceptos y categorías más generales mediante los que describimos y explicamos la naturaleza y sus cambios. Mientras que las ciencias, como la física o la biología, describen en detalle sus objetos y las regularidades que exhiben, la filosofía de la naturaleza se pregunta, por ejemplo, si todo lo que existe en la naturaleza puede reducirse a una clase de entidad, si depende de lo sobrenatural, y con qué medios lingüísticos y conceptuales pueden concebirse los cambios, el movimiento y el desarrollo en la naturaleza (por ejemplo espacio, tiempo, sustancias, propiedades, procesos, etc.). La siguiente contribución trata de mostrar cómo la filosofía se apoya para ello en el correspondiente conocimiento empírico, pero cómo va más allá debido a su especial planteamiento.

2. Concepciones de la materia y concepto de energía a lo largo de la historia

2.1. Antigüedad y Edad Media

En las cosmovisiones míticas se explica con frecuencia el origen del mundo a partir de una unidad original. La unidad original reúne en sí tanto momentos activos y estructuradores como pasivos y estructurables. Esta unidad decae por ejemplo en un primer paso en un par inicial de opuestos (por ejemplo agua dulce y agua salada; cielo y tierra), que luego originan (con frecuencia en forma de reproducción sexual) una tras otra las fuerzas de la naturaleza, las plantas y los animales, y finalmente a los hombres.

Como término filosófico, materia (*hyle*) fue introducido, en

los textos conservados de la Antigüedad, por primera vez por Aristóteles, al comienzo de su *Física*. No obstante, con buenas razones, aplica Aristóteles su concepto de materia también a las hipótesis sobre el material original de los filósofos presocráticos de la naturaleza. Los nuevos planteamientos de esos pensadores tenían por objeto la identificación de un material originario permanente, del que surgen todas las cosas, pero del que también se componen y en el que se descomponen al perecer (Buxton, 1999; Rapp, 2007; McKirahan, 1994). Así nació el programa de la metafísica reduccionista, que continúa hasta el presente. En el marco de este programa debía explicarse la multiplicidad de los fenómenos mediante el recurso al material originario. Para ello se proporcionaba un mecanismo regular, que domina la actividad del material originario, y que hace comprensible el surgimiento de la multiplicidad. Por tanto, en el pensamiento presocrático, la materia es un material originario permanente, cuya actividad conduce a la multiplicidad de las cosas observables. La unidad original mitológica se convierte en un eterno material originario, del que todo se compone, y su momento creativo se convierte en una forma de movimiento del material originario. Esta fue la más temprana figura histórica en la que se articuló la oposición entre la materia móvil y su forma. Y así por ejemplo Anaxímenes postula el aire como el material originario, del que proceden todas las cosas por medio del mecanismo de la rarefacción y la condensación; mientras que Heráclito ha postulado como material originario el fuego, cuya actividad se halla regulada por el *Logos* gobernante de todo.

Esta concepción de la materia fue modificada por Parménides de forma muy importante. Parménides concluyó, a partir de la imposibilidad de un surgimiento de la nada y de una desaparición en la nada, que el ser verdadero no puede ni originarse ni perecer, sino que debe ser eterno, inmóvil, indivisible, y más allá del espacio y el tiempo. La aparente multiplicidad y movimiento de las cosas tiene que ser por tanto una ilusión sensorial. Y, por consiguiente, lo existente solo puede ser objeto del pensamiento, no de la percepción.

Como consecuencia hubo diversas propuestas, según las

cuales la materia fundamental consiste en una pluralidad de elementos originarios, supuestos ellos mismos como inalterables e invisibles. Y así Empédocles postuló los cuatro elementos originarios, fuego, agua, tierra y aire, mientras que, por el contrario, Anaxágoras propuso la infinita multiplicidad de la mezcla de todos los materiales existentes, y Demócrito un número infinito de átomos. Con ello se convirtió la pregunta por la causa del movimiento en una parte importante de la concepción de la materia. Empédocles designó como causas del movimiento el amor (atracción) y el odio (repulsión), mientras que Anaxágoras apuntó el espíritu. En el atomismo, el vacío (en cierto sentido: el espacio) posee una importante función para el movimiento. El tipo de composición de los elementos originarios para constituir formaciones más complejas (por ejemplo las disposiciones de los átomos en Demócrito) define al mismo tiempo una nueva concepción de la forma.

La distinción conceptual entre estructuras (formas) y cosas estructuradas (formadas) es un logro decisivo de Platón. En su terminología, se trata de la distinción entre ideas y objetos perceptibles, que participan de las ideas. La concepción de la materia de Platón se vuelve empero visible en primer lugar en el marco de su ontología tardía (Gaiser, 1963; Johansen, 2004), que se caracteriza por una mezcla de unidad y multiplicidad.

Los cuatro elementos materiales fundamentales de las cosas perceptibles se forman mediante estructuras estereométricas de cuatro cuerpos regulares: el tetraedro (fuego), el octaedro (agua), el icosaedro (aire) y el cubo (tierra). Como principio de la multiplicidad, denominada por Platón «espacio» (*chōra, topos*), la materia es por el contrario aquello que es infinitamente determinable y ella misma no determinada de ninguna manera. Ahora bien, esa materia, lo mismo que el principio de la unidad, no forman parte de los entes existentes, puesto que ninguno de ambos principios representan una mezcla de unidad y multiplicidad.

Para Aristóteles, discípulo de Platón, la naturaleza (*physis*) es el ámbito de las cosas y los acontecimientos que ocurren por sí mismos, y tienen en sí el principio del movimiento y el reposo.

Ahora bien, las ciencias se ocupan primariamente de estructuras generales e inalterables. ¿Cómo puede haber entonces una física como ciencia de las cosas naturales variables? En el contexto de esa pregunta, Aristóteles desarrolla una nueva concepción de la materia y la forma (*hylemorphismus*). Según el análisis de materia-forma, el devenir es un proceso en el que un objeto-sustrato, la materia (*hyle*), adquiera una nueva forma (*morphe*). Las sustancias, es decir, los objetos ontológicamente fundamentales, son compuestos de materia y forma (Gill, 2006).

La distinción aristotélica de materia y forma ha demostrado ser muy efectiva. Entre otros, fue retomada por los estoicos. Para los estoicos, la física está al servicio de la ética. El materialismo estoico debía garantizar la no disponibilidad de las cosas exteriores, pero al mismo tiempo su dominio por la razón. Este materialismo arroja entonces la pregunta de cómo la razón ha de dominar por doquier en el universo (Happ, 1971; Solmsen, 1960; Judson, 1991; Bodnar; P. Pellegrin, 2006). Los estoicos intentaron abordar este problema por medio de la distinción entre materia (*hyle*) y razón (*logos*). Cada cuerpo muestra dos aspectos: la capacidad pasiva de padecer algo (el aspecto material), y la capacidad activa de realizar algo (el aspecto racional). La materia, en el sentido particular de capacidad de padecer y moldeabilidad del cuerpo, es estructurada por formas que le son impuestas por la razón. Para explicar por qué las partes de los cuerpos materiales complejos se mantienen unidas, la física estoica postulaba un *pneuma* (un soplo anímico), compuesto de fuego y aire, y por tanto activo, que dotaba a las partes corporales de estructura, coherencia y movimiento. No existe ni una materia sin forma ni una razón inmaterial. Antes bien, la materia y la razón se encuentran continuamente unidas y forman así los cuerpos. De este modo, el *pneuma* transforma el cosmos entero en una unidad interrelacionada.

En la Antigüedad tardía la concepción atomista fue mantenida por Epicuro y Lucrecio, y la concepción de Platón de una materia prima fue retomada. No obstante, la materia no posee en el neoplatonismo, como en Platón, el estatuto de un

principio independiente del ser, sino que es generada por el principio de lo uno, a través de muchos pasos intermedios (Rist, 1969; Sambursky, 1959; Hossenfelder, 1995). En total, por tanto, la Antigüedad produjo tres grandes concepciones de la materia: el hilemorfismo aristotélico-estoico, el postulado platónico-neoplatónico de una materia prima completamente indeterminada, y la teoría atomista de la materia de Demócrito, Epicuro y Lucrecio. Cada una de las tres posiciones articulan de una manera específica la diferencia entre materia y forma: como material receptivo configurado y forma sustancia (o incorpórea materia indeterminada y pneuma) en el hilemorfismo, como principio de multiplicidad y unidad en el platonismo, o como átomos y sus configuraciones moleculares para los atomistas3.

En la filosofía de la naturaleza de la Edad Media permanecieron presentes esas tres concepciones. Bajo la impresión de la síntesis a gran escala del cristianismo y el aristotelismo llevada a cabo por Tomás de Aquino, el hilemorfismo aristotélico llegó a convertirse en la posición dominante. Pero también las otras dos concepciones antiguas de la materia fueron claramente articuladas y defendidas en la Edad Media (Ariew; Gabbey, 1998; Pluta, 1997).

2.2. **Temprana Edad Moderna**

El peso y la influencia de las tres concepciones antiguas de la materia fueron modificados drásticamente durante los siglos XVI y XVII: El hilemorfismo aristotélico y las representaciones neoplatónicas pasaron a un segundo plano, mientras que la concepción atomista de la materia adquirió una influencia abrumadora. El fundamento metafísico de la física de la temprana Edad Moderna era el mecanicismo, que hizo suya la concepción de que la materia posee una existencia autónoma, y cuenta con propiedades esenciales tales como la temporalidad, el tamaño, la forma geométrica en el espacio, así como el movimiento (velocidad y aceleración) y la fuerza (impulso). Los mecanicistas postularon que ese tipo de materia constituye la base metafísica del universo, y que las propiedades fundamentales de la materia no han de ser descritas en términos de formas sustanciales, sino de manera matemática (Westfall,

1971). Hacia la mitad del siglo XVII la concepción aristotélica de los compuestos de materia y forma como las sustancias fundamentales del cosmos había desaparecido en gran medida de la discusión filosófica y física, sobre todo bajo la influencia de mecanicistas como Pierre Gassendi, René Descartes y Thomas Hobbes. Muchos mecanicistas describieron la materia en las líneas del antiguo atomismo, que en la primera mitad del siglo XVII experimentó una resurrección intelectual (Meinel, 1988). El más destacado representante de esa dirección fue Pierre Gassendi. No obstante, Descartes defendió una teoría de la materia que, a primera vista, se encontraba más cerca de la metafísica aristotélica que del atomismo. Él rechazó, como Aristóteles, una premisa atomista central, la existencia del vacío, y propagó una teoría según la cual no existe ningún espacio libre de materia. Pero, de modo muy distinto que Aristóteles, Descartes sostenía que la simple extensión tridimensional constituye el rasgo esencial de esa materia básica uniforme que llena todo el universo (Garber, 1992).

2.3. **La materia en la física de la temprana Edad Moderna**

Las concepciones de la materia de la Antigüedad cambiaron de manera fundamental sobre todo con el desarrollo de la física de la temprana Edad Moderna. Galileo, uno de los padres fundadores de la física moderna, puso especial énfasis en una tradición pitagóricoplatónica, que concede a las matemáticas un lugar central en la filosofía de la naturaleza (Krüger, 1995). Su idea de que el libro de la naturaleza está escrito en lenguaje matemático condujo a la creencia de que también la física terrestre debe ser formulada matemáticamente (como ya lo había sido en la Antigüedad la astronomía). En consecuencia, la materia debe ser caracterizada por medio de propiedades medibles: por medio de la velocidad, la aceleración, el peso y el impulso. Aparte de eso, la concepción de Aristóteles del éter como una materia especial celeste colapsó con la observación de Galileo de algunos planetas a través del nuevo telescopio. De ahí que la materia fuera considerada como un material que tiene las mismas propiedades en todo el universo.

La recientemente descubierta inercia de la materia, así como

un nuevo concepto de fuerza, desempeñaron un papel central en estos cambios. Para Newton, un cuerpo que no es afectado desde el exterior mantiene su velocidad y la dirección de su movimiento. El cambio de velocidad (la aceleración) es proporcional a la fuerza que se le aplique. Si bien la materia es pesada, sin embargo ya no tiene un principio interior del movimiento. El concepto de masa (en el doble papel de inercia y de peso) se convertiría en central para la caracterización de la materia, sustituyendo a la representación tradicional de la cantidad de materia, con consecuencias físicas de gran alcance (Jammer, 1974).

Aparte de eso, en la mecánica y la teoría de la gravitación de Newton se desarrolló un concepto de leyes de la naturaleza, según el cual debe distinguirse claramente entre las leyes de la naturaleza, eternas (y otorgadas por Dios, como legislador), y la materia construida a la manera atomista. En consecuencia, las leyes de la naturaleza no proceden de la naturaleza de los cuerpos materiales, sino a la Voluntad del divino Creador (Hampe, 2007: 72-73; Hüttemann, 2007: 135-153). La ley de la gravedad constituye un ejemplo de esta legislación «impuesta».

Según Newton, las leyes de la naturaleza describen de qué modo llegan a ocurrir procesos observables, es decir, cambios en el movimiento, por la acción de fuerzas inobservables sobre la materia considerada como material corpóreo. Con ayuda del cálculo diferencial recién desarrollado por Newton y Leibniz, se pudieron representar por primera vez con exactitud de forma matemática estos cambios de movimiento. En la medida en que las descripciones matemáticas contienen estructuras matemáticas (y por tanto formas), el concepto de forma fue puesto de nuevo en circulación para la representación de los cambios de movimiento de los cuerpos materiales en la física de la temprana Edad Moderna.

No obstante, algunos físicos de la temprana Edad Moderna, como por ejemplo R. J. Bošcović, no concebían los cuerpos materiales como inertes, sino como centros de fuerza que poseen la capacidad de interacción mutua mediante fuerzas que dependen de la distancia de separación. Leibniz y Kant

concibieron la materia como un fenómeno que puede ser reducido por completo a efectos de fuerza. Pero semejantes planteamientos no tuvieron una gran influencia, desde el punto de vista de la historia de la física.

Los modelos teóricos corpusculares de la materia se difundieron también en la química. Y así R. Boyle (1662) propuso un programa para reducir todas las propiedades de la materia a movimiento y disposición de sus partes. Pudo avanzarse más en este programa a comienzos del siglo XIX con la figura de J. Dalton (Mainzer, 1996: 65; Toulmin; J. Goodfield, 1970: 188 ss.; 254 ss.).

A finales del siglo XVIII se discutieron diversos criterios para distinguir la materia (en el sentido de las cosas corpóreas) de lo no material. Los cuerpos sólidos y líquidos serían sin duda corpóreos. Pero también se propuso clasificar las fuerzas como corpóreas, si fueran capaces de producir efectos físicos. Otra propuesta consistió en considerar como corpóreo lo que es, o puede llegar a ser, impenetrable (como puede llegar a serlo el agua al congelarse formando hielo) o aquello que posee masa (según lo cual no habría ninguna materia que no pudiera pesarse) (Toulmin; Goodfield, 1970: 222-223).

2.4. **Reflexiones filosóficas**

A la pregunta de cómo pueden considerarse las cosas materiales como compuestas de unidades últimas, G.W. Leibniz ofrece una respuesta que es más compleja que las informaciones de los atomistas. Para él, los cuerpos materiales son manifestaciones de agregados de sustancias simples (*mónadas*), que más bien han de ser concebidas como centros de fuerza, es decir, como fundamento y no como partes de las cosas materiales (Röd, 1984: 78). Estas unidades sustanciales son parte de una metafísica en la que se refleja el papel de la conciencia unificadora.

G. Berkeley pudo, debido a su teoría empirista del conocimiento, prescindir por completo del supuesto de una materia como sustrato de propiedades y causa de impresiones. Para él no hay nada más, junto al ser espiritual, que representaciones percibidas (ideas).

Kant tiene varios conceptos de materia. En la *Crítica de la Razón Pura* considera las impresiones desestructuradas de los sentidos como materia, que es estructurada por las formas de la percepción (espacio y tiempo) y del entendimiento (sustancia, causa-efecto). Aquí materia es una variedad desestructurada que necesita una forma que la dote de unidad para convertirse en objeto del conocimiento. Los cuerpos materiales son para Kant fenómenos, no cosas en sí. Por tanto, son ya también constituidos de una manera dependiente de nuestra capacidad cognitiva. Por medio de esa posición en teoría del conocimiento, puede Kant esquivar la pregunta de si la materia se compone de partes simples indivisibles, o si es infinitamente divisible (Engelhard, 2005). Las caracterizaciones de la materia (en sentido físico) en el contexto de la fundamentación metafísica de la física (Falkenburg, 2000) en los *Primeros Principios Metafísicos de la Ciencia* son, desde la perspectiva actual, posiblemente menos relevantes que la teoría crítica del conocimiento kantiana.

2.5. **El materialismo en los siglos XVIII y XIX**

El materialismo (Nieke et al., 1980; Mainzer, 1996: 28 ss.; Bayertz; Gerhard; Jaeschke, 2007) es la concepción de que no existe ninguna otra realidad aparte de la materia, y que, por tanto, en principio todo es explicable sobre la base de cosas, propiedades y procesos físicos. En Francia, sobre todo J.O. de La Mettrie y P. Holbach desarrollaron planteamientos que conciben al hombre en analogía con la máquina, y la conciencia y el alma como fenómenos concomitantes de procesos fisiológicos. Estos autores recibieron influencia del redescubierto atomismo, así como de los progresos de la fisiología humana. En Alemania, autores como J. Moleschott y C. Vogt expandieron una cosmovisión orientada hacia las ciencias naturales, según la cual la filosofía no puede decir sobre el mundo nada más que lo que dicen las ciencias naturales. En cuanto al contenido concreto, L. Büchner concebía las fuerzas como propiedades de los materiales.

El materialismo en esta época es también, y sobre todo, una cosmovisión combativa. También el alma, el espíritu y el

pensamiento son concebidos como fuerzas o movimientos de la materia. Cuestiones fundamentales de la teoría del conocimiento y de la ontología acerca de la concepción de la materia desempeñan ahí un papel subordinado, como ocurre también en el caso de los programas históricos y políticos del materialismo dialéctico y del materialismo histórico.

2.6. **Materia y energía en la física de los siglos XVIII y XIX**

Johann Bernoulli emplea por primera vez, en 1717, en el marco del desarrollo ulterior de la mecánica, la palabra «energía» en el contexto de investigaciones acerca del equilibrio de fuerzas. En la discusión sobre la cantidad correcta de la fuerza (masa multiplicada por la velocidad, o multiplicada por el cuadrado de la velocidad), no se distingue aún bien, considerado desde la perspectiva actual, entre fuerza y energía, de modo que las discusiones en torno a la formación del concepto de energía tienen lugar con frecuencia empleando el término de «trabajo». Llevó su tiempo la clarificación de la distinción entre la energía mecánica cinética y la potencial, y la formación del concepto de trabajo como magnitud física. Una distinción rigurosa entre fuerza y energía y una fijación del concepto de energía la consiguió por primera vez Helmholtz hacia mediados del siglo XIX. Las consideraciones energéticas no desempeñaron inicialmente un papel importante en la mecánica (Jammer, 1967; Theobald, 1966).

Solo con el descubrimiento, en el transcurso de la primera mitad del siglo XIX, de un principio general de conservación de la energía llegó a reconocerse la importancia central del concepto de energía para las ciencias de la naturaleza. Un factor fueron aquí las representaciones teóricas del calor. A finales del siglo XVIII no estaba claro si el calor era una entidad material propia. Diversos experimentos (por ejemplo en la perforación de los agujeros de los cañones) mostraron que la energía mecánica puede transformarse en calor. Este fue un paso importante hacia la teoría cinética del calor. En el transcurso posterior del siglo XIX se desarrolló en la mecánica estadística un programa que explica magnitudes tales como la presión y la temperatura como propiedades de grandes conjuntos de partículas atómicas o

moleculares, sobre los que pueden realizarse enunciados probabilísticos. De este modo, la termodinámica pudo ser reducida en principio a un modelo atomista. Helmholtz derivó en 1847 con análisis matemáticos exactos la conservación de la energía mecánica. En su opinión, todos los fenómenos naturales eran de naturaleza mecánica.

Sin embargo, ya la filosofía de la naturaleza del romanticismo había criticado el mecanicismo atomista de la filosofía de la ilustración francesa, apuntando, entre otros, a fenómenos como la electricidad, el magnetismo y el enlace químico, y concebido la naturaleza en analogía con un organismo unificado y dotado de alma, que no sería explicable de forma mecánico-atomista (Mainzer, 1996: 28 ss.).

Ciertamente, explicar los fenómenos electromagnéticos en un marco mecanicista constituía un reto. La fuerza de atracción de cuerpos cargados eléctricamente debería ser primero conceptualizada por medio de una fuerza de acción a distancia en analogía con la fuerza de la gravedad. En tales teorías de la acción a distancia, un cuerpo puede ejercer un efecto sobre otro cuerpo muy alejado del mismo sin la mediación de la materia intermedia. La filosofía de la naturaleza aristotélico-escolástica y el mecanicismo de la temprana Edad Moderna conocían para las fuerzas terrestres mayormente solo efectos por contacto. No obstante, el gran éxito de la teoría newtoniana de la gravitación convirtió en plausible el programa de explicar también los influjos eléctricos y magnéticos sobre los cuerpos materiales por medio de acciones a distancias (Jammer, 1972). Ahora bien, el gran físico experimental M. Faraday (Simonyi, 1990: cap. 4.4.) allanó entonces con su pensamiento, que había recibido, entre otras influencias, la de la filosofía natural del romanticismo, el camino hacia una teoría de campo del electromagnetismo, que más adelante fue formulada por J.C. Maxwell en un lenguaje matemático apropiado (con ecuaciones diferenciales en derivadas parciales). Maxwell había intentado en primer lugar explicar el electromagnetismo con la ayuda del movimiento de las correspondientes partículas materiales, prosiguiendo el programa de que la comprensión de los procesos naturales

requiere un modelo mecanicista. El fracaso de los intentos de explicar los campos electromagnéticos con la ayuda de un medio material, proporcionó finalmente a los campos un estatuto autónomo con respecto a la materia ponderable. Las ecuaciones de campo de Maxwell, que interrelacionan los campos eléctricos y magnéticos y el movimiento de los cuerpos cargados estaban libres de analogías mecánicas. También la luz podía ser situada en el espectro de las ondas electromagnéticas. En la gran síntesis que alcanzó la física clásica hacia finales del siglo XIX (Toulmin; Goodfield, 1970), un campo consistía en la totalidad de los valores de una magnitud física definidos directamente para los puntos del espacio, sin que fuera preciso asociarles un sustrato material. Sin embargo, los campos electromagnéticos contienen energía que puede ser transformada en trabajo mecánico, y que incluso puede ser transportada a través del espacio (sin un soporte material).

Investigaciones fisiológicas y químicas sugirieron que también en los organismos vivos, en la transformación de energía química en calor y movimiento, se cumple una ley general de conservación de la energía (así el médico R. Mayer 1842), lo cual conduce a una unificación de las ciencias naturales (Jammer, 1967).

Puesto que la energía puede manifestarse en distintos ámbitos, y no tiene necesariamente que ser una propiedad de un cuerpo material, hacia finales del siglo XIX la energética (el energetismo) consideraba la energía como una magnitud independiente fundamental, sobre la que se puede construir una cosmovisión unitaria. Según Wilhelm Ostwald, cualquier suceso (también mental), en «última instancia», no consiste en otra cosa que una transformación de energía. También la materia es una forma de manifestación de la energía. Junto con la crítica al atomismo y al mecanicismo contenida ahí, Ostwald adujo en favor de su posición razones de teoría del conocimiento apoyadas en el positivismo (Jammer, 1967; Ostwald, 1902; Ostwald, 1908: 5, 126). Con independencia de las discutidas tesis cosmovisionales de Ostwald, la energética perdió en el siglo XX pronto su influjo, debido principalmente a la superior

capacidad explicativa de las nuevas teorías atómicas de la mecánica cuántica.

3. CONCEPCIONES DE LA MATERIA Y CONCEPTO DE ENERGÍA EN LAS CIENCIAS NATURALES ACTUALES

Al final del siglo XIX, la concepción de los físicos era que la materia en sentido estricto (los átomos y los electrones) consistía en partículas localizables. Las fuerzas eléctricas y magnéticas que actúan entre estas partículas de materia vendrían mediadas por extensos campos ondulatorios. Ciertamente, subsistían aún nociones distintas sobre la naturaleza de los objetos de los que tratan las teorías fundamentales de la física. Pero, a pesar de una serie de problemas internos, no había dudas serias de que estas eran en esencia instrumentos correctos, y de que no cabía esperar más revisiones. Sin embargo, en el espacio de tres décadas, nuevos experimentos y nuevos conceptos de la física teórica condujeron a una profunda conmoción, que también tuvo consecuencias filosóficas, porque desacreditó concepciones clásicas de la materia.

3.1. Conceptos de materia en la física actual

Este desarrollo se produjo en distintos pasos. La teoría especial de la relatividad de Einstein (1905) condujo al abandono del éter como un especial medio de soporte para las ondas electromagnéticas, y a una corrección del concepto de masa de la mecánica clásica: La masa puede transformarse en energía. La teoría de Einstein de la gravedad (la llamada *teoría general de la relatividad*, 1916) explica la equivalencia entre la masa gravitacional y la inercial, y predice que la luz se curva en el campo gravitatorio del Sol igual que las trayectorias de las partículas con masa. Esta desviación de la luz pudo confirmarse experimentalmente en 1919 (Cushing, 1998: parte VI; Mainzer, 1996: cap. III). Los efectos gravitatorios se explican en esta teoría porque el contenido material del espacio cambia las propiedades geométricas del espacio («curvatura del espacio»). La luz y las partículas como el electrón son «guiadas» en ese «espacio curvo» de una manera distinta a como lo son en un espacio plano. Con ello, el supuesto de una fuerza propia de la

gravedad (como postulaba la teoría newtoniana) se convierte en innecesario. Ya no se necesitan más las acciones a distancia.

Las teorías de Einstein aportan dos innovaciones al concepto de materia: la materia (incluyendo la energía electromagnética de la luz) influye en la estructura del espacio y del tiempo; y ya no hay ninguna ley de conservación para la masa. Cuando, por ejemplo, se fusionan dos núcleos atómicos, el sistema compuesto posee una masa que es distinta de la suma de las masas de los dos núcleos, encontrándose la diferencia de masa Δm en la energía de ligadura $E=\Delta mc2$ del nuevo núcleo. Ahora bien, sería un error decir que la materia se puede transformar en energía (Cushing, 1998: cap. 18; Audretsch, 1988: 52-82). Pero a veces se denomina materia a aquellas partículas que tienen lo que se llama «masa en reposo» (que no depende de su estado de movimiento). En ese caso la luz no pertenece a la materia así definida. Esa forma de hablar recuerda a la diferencia entre materia y radiación, que, sin embargo, en las teorías fundamentales de la actualidad no es una distinción básica, y en ningún caso debe interpretarse como un dualismo ontológico (por ejemplo entre materia y energía).

La física cuántica, que fue en 1926 por primera vez formulada en teorías más amplias (Cushing, 1998: Parte VII; Nortmann, 2008), condujo no obstante a revisiones mucho más fundamentales de la imagen de la materia de la física clásica. La física clásica al término del siglo XIX descansaba en una concepción dualista: La materia consta de partículas, y la radiación por el contrario de ondas (campos). Nuevos tipos de experimentos y su interpretación en teorías recién formuladas obligaron al abandono de la intuitiva concepción corpuscular de la materia. La representación de los corpúsculos atómicos o las partículas elementales como pequeños cuerpecitos localizados mostró ser incompatible con la física atómica del siglo XX. Al mismo tiempo parecía mostrar por ejemplo la luz también propiedades corpusculares, de manera que la distinción entre materia y radiación se volvió problemática. Con ello se volvió también cuestionable en qué sentido puede concebirse los objetos cuánticos como objetos en el espacio.

Las propiedades fundamentales de las partículas y las ondas pueden ser descritas inequívocamente por medio de la mecánica clásica y la teoría clásica de las ondas. La primera de las revisiones fundamentales mecanocuánticas de la concepción de la materia en la física clásica consiste en el rechazo de esa imagen dualista. Pues los objetos cuánticos se comportan a veces como partículas clásicas y a veces como ondas clásicas («dualidad onda-partícula»). Si se hace, por ejemplo, que electrones pasen a través de una doble rendija, cada electrón reacciona solo de manera puntiforme con los correspondientes aparatos de medida y da así la impresión de una partícula clásica. Pero si uno suma muchos sucesos de detección comprueba que la frecuencia relativa de impacto en la pantalla detectora presenta justo la distribución espacial de las imágenes de interferencia de las ondas clásicas tras una doble rendija. Por tanto, los electrones no son ni partículas clásicas ni ondas clásicas. Del mismo modo, la luz genera habitualmente efectos de interferencia y parece por tanto constar de ondas. Pero también hay experimentos en los que la luz se comporta de tal modo que es como si estuviera compuesta de partículas, los llamados fotones (por ejemplo en el efecto fotoeléctrico) (Audretsch, 1990). Que un objeto cuántico pueda ser concebido como onda o como partícula es algo que queda en sí indeterminado, y dependerá de los experimentos y medidas con los que los objetos cuánticos sean investigados.

Además de lo anterior, del aparato matemático de la teoría cuántica se sigue otra indeterminación fundamental de los objetos cuánticos (al menos desde la perspectiva de la física clásica), asociada a una segunda revisión del concepto de materia: Es imposible (según indica la relación de indeterminación de Heisenberg) atribuir a un electrón una posición determinada y al mismo tiempo una determinada velocidad (un determinado impulso). No obstante, una medida únicamente del impulso proporciona un valor determinado (preciso), igual que lo hace, alternativamente, una medida de la posición. Esto es debido a la especificidad del proceso de medición en la teoría cuántica (véase más abajo).

Los registros de las cámaras de niebla, en los que se ven las trayectorias de las partículas como rastros de esquiadores, parecen contradecir el hallazgo de que las partículas elementales no son partículas clásicas. No obstante, al análisis preciso muestra que esas huellas se componen de muchas pequeñas gotitas del medio circundante, son el resultado de una densa cadena de procesos de medida, y no pueden ser consideradas como un indicio de que las partículas elementales siguen trayectorias clásicas. Cuando en la física de partículas elementales se sigue hablando de partículas hay entonces en juego distintos conceptos de partícula, cada uno de los cuales conserva únicamente determinados aspectos del concepto clásico de partícula, en función del contexto (ya sea la interpretación de experimentos o de elementos del aparato matemático de la teoría) (Falkenburg, 2007).

La pregunta de si los objetos cuánticos se asemejan más bien a las partículas o a las ondas, si son discretos y localizados o extensos y capaces de interferir, no puede por tanto ser respondida inequívocamente. El aparato matemático de la teoría cuántica deja abierta de una forma especial esta pregunta. Esto se debe a que las medidas por lo general alteran el estado de un objeto cuántico de un modo desconocido por la física clásica. La ecuación fundamental para la variación temporal de los estados de los objetos cuánticos es determinista, como en la física clásica. Pero el proceso de medida no está sometido a esa ecuación. A saber, en la medida, un sistema que parte de un cierto estado puede por lo general pasar a varios estados. Para los distintos resultados posibles de las medidas la teoría cuántica solamente proporciona probabilidades. En este sentido, la teoría cuántica es indeterminista. Una metafísicamente costosa evitación de este papel especial de las medidas consiste en el supuesto de que todos los posibles resultados de las medidas ocurren de hecho, solo que en mundos diferentes, que surgen en la medida («teorías de los múltiples mundos») (Stöckler, 2007: 245-263; Bartels, 1996: 260).

Para la investigación de las consecuencias de la teoría cuántica para la imagen física del mundo, y en especial para el

concepto de materia, el conocimiento del aparato matemático de la teoría, y de sus aplicaciones prácticas, es algo necesario, pero no suficiente. A esto hay que añadir un análisis de la semántica de la teoría (¿qué elementos de la teoría son magnitudes auxiliares ficticias, y qué elementos pueden ser interpretados de manera realista?) y posiblemente determinaciones más precisas (¿a qué concepto de probabilidad se refiere uno en la teoría cuántica?). Desde la formulación de la teoría, se han desarrollado numerosas de estas llamadas «interpretaciones de la teoría cuántica». Estas interpretaciones, si bien no dan lugar a ninguna diferencia en el uso instrumental de la teoría, sí que favorecen distintas concepciones de objeto, y proporcionan con ello respuestas diferentes a la cuestión de en qué se diferencia la concepción de la materia en la teoría cuántica de la de la física clásica (Stöckler, 2007; Friebe et al., 2015).

En relación con esto se han propuesto distintas revisiones de la imagen de la materia (Stöckler, 1996). Y así, por ejemplo, ha sido cuestionada la objetividad de la descripción mecanocuántica de los estados, en el sentido de que los sucesos en el plano subatómico se encuentran asociados a actos de observación, de modo que la materia inerte en cierto sentido se habría vuelto dependiente de la conciencia de los observadores humanos (Stöckler, 1996: 45 ss.). Pero tales concepciones confunden el proceso material de la medida con el físicamente irrelevante acto cognitivo de hacerse cargo del resultado de la medida.

En un plano distinto se encuentra la afirmación de que el estado de un sistema cuántico solo puede ser caracterizado relacionalmente (en relación a un aparato de medida, o, como Niels Bohr, en relación a una descripción con conceptos clásicos). Según esto, los fenómenos cuánticos son siempre fenómenos en un mundo clásico. No obstante, esta interpretación denominada «interpretación de Copenhague», y los planteamientos emparentados con ella han sido objetos de una crítica creciente (Stöckler, 2007: 252).

En varias ocasiones se ha empleado la teoría cuántica

también contra el realismo como posición de teoría del conocimiento, es decir, también contra el supuesto de que la materia y las partículas materiales existen realmente con independencia de nosotros los humanos. Aquí habría que analizar qué es lo que se entendía por realismo en cada una de esas discusiones. Sin embargo, no parece que la mecánica cuántica aporte realmente una nueva razón convincente contra el realismo, más allá de objeciones de teoría del conocimiento (Stöckler, 2007: 258). Pues, después de todo, la teoría cuántica, nos indica a través de su aparato matemático con exactitud en qué estado se encuentran los objetos cuánticos con independencia de nosotros.

Prescindiendo ampliamente de estas cuestiones interpretativas uno puede retener que los objetos cuánticos ya no pueden ser individualizables por medio de trayectorias, y que en los sistemas de muchas partículas, si bien cabe proporcionar un «número de partículas», lo que no cabe es numerar las partículas individuales (Bartels, 1996: 94 ss.; Friebe et al., 2015 cap. 3). Los objetos cuánticos ya no son por tanto individuos en sentido clásico.

Otro cambio significativo es un especial holismo cuántico (Stöckler, 2007: 254-257): Cuando dos objetos cuánticos interactúan y luego se separan de nuevo espacialmente, los sistemas parciales ya no pueden ser descritos del mismo modo que antes, es decir, ya no poseen una función de estado «propia», su comportamiento permanece en cierto modo acoplado, a pesar de la separación espacial. Tales sistemas «entrelazados» constituyen algo característico de la teoría cuántica, sobre lo que ya en 1935 Einstein y Schrödinger llamaron la atención. Una consecuencia comprobada entretanto también experimentalmente es que, en ciertas medidas especiales en sistemas que se encuentran en un sistema entrelazado así, los resultados obtenidos en aparatos de medida muy alejados se encuentran más correlados de lo que podría esperarse a partir de la información almacenada en las distintas partículas como consecuencia de su pasado común. Las correlaciones claramente no son explicables ni por medio de un

efecto causal entre los aparatos de medida ni por medio de una causa común, y la mecánica cuántica no proporciona más allá de la descripción del estado ningún mecanismo responsable de su generación (Friebe et al., 2015: cap. 4).

3.2. **Teoría cuántica de campos y ontología**

La teoría cuántica era en origen una teoría cuántica de partículas como los electrones y los protones. El campo electromagnético seguía siendo tratado ahí como un campo clásico. Más adelante se extendió el acceso a la teoría cuántica también a los campos, es decir, a sistemas con infinitos grados de libertad (Kuhlmann, 2006). Así surgió la teoría cuántica de campos (que abreviaremos en lo que sigue como QFT [del inglés: *quantum field theory*]). Sin embargo, una formulación de la teoría que sea completamente satisfactoria desde el punto de vista matemático, y al mismo tiempo aplicable, no se ha conseguido aún. No obstante, la QFT es el lenguaje en el que la física formula actualmente sus teorías sobre los componentes fundamentales de la materia. Uno puede plantearse la pregunta de cómo está constituido el mundo si esa teoría es correcta. ¿Qué extensión poseen los microobjetos? ¿Continúan proporcionando el espacio y el tiempo el marco universal en el que ocurren todos los procesos materiales? ¿O se convierten el espacio y el tiempo en conceptos derivados, que solo comienzan a entrar en juego cuando se trata de describir la experiencia práctica?

La construcción de la QFT no se basó en una concepción de objeto unitaria, sino que fue determinada muy fuertemente por reflexiones formales y analogías de la física clásica. En la QFT hay por ejemplo objetos matemáticos (operadores de campo) para la caracterización del tipo de campo (ya sea luz, o electrones), y objetos matemáticos que caracterizan el estado del sistema de que se trate como vectores en un espacio de estados (espacio de Hilbert), y así tenemos, por ejemplo, un haz de electrones en una dirección seleccionada con una energía específica. A través del juego coordinado entre estos elementos formales, cuyo cambio temporal viene gobernado por leyes generales de la naturaleza, pueden predecirse probabilidades

para los resultados de las medidas. En este marco puede describirse la energía como una propiedad de la materia por medio de una magnitud (un operador) relacionado con la invariancia de los sistemas físicos al desplazar la coordenada temporal, es decir, con la homogeneidad del tiempo.

En la QFT existen también magnitudes (propiedades), como por ejemplo el *spin*, que no están definidas como propiedades espaciales o cinemáticas. También los objetos fundamentales poseen por tanto abiertamente algo así como una estructura interna. Por lo demás, la QFT no presupone que los objetos fundamentales, como los electrones o los neutrinos, sean imperecederos, sino que contiene operadores que describen la generación y la destrucción de objetos cuánticos, y así pueden captar la transformación de las partículas.

En la QFT, la situación espacial de los objetos y los procesos tampoco puede leerse ya directamente a partir del formalismo matemático, como era el caso en la física clásica. No hay ni trayectorias clásicas de «partículas puntiformes» ni un ordenamiento permanente de intensidades de campo a puntos del espacio. El espacio y el tiempo continúan jugando un papel importante en el plano global de la teoría (simetrías en las transformaciones entre sistemas de referencia), pero no se puede proporcionar una figura ininterrumpida de los objetos cuánticos. No obstante se puede conseguir su localización en el proceso de la medida, de manera que la teoría puede ser puesta a prueba por medio de experimentos en el espacio y el tiempo.

Resulta por tanto difícil fijar la ontología de la QFT, y especialmente teniendo en cuenta que con frecuencia la formulación abstracta de la teoría y las aplicaciones experimentales descansan sobre interpretaciones ontológicas diferentes. De ahí que en una discusión actualmente viva de la filosofía de la física se utilicen herramientas de la llamada ontología analítica (es decir, reflexiones generales acerca del inventario del mundo, y de los esquemas conceptuales para concebirlo, por ejemplo la división entre objetos y propiedades, la distinción entre sustancias y procesos, entre individuos y universales etc.), para averiguar qué esquemas resultan más

adecuados para explicitar los supuestos ontológicos de la QFT (Kuhlmann, 2010; Kuhlmann; Lyre; Wayne, 2002).

Uno puede confrontar la QFT con distintas posibilidades que se discuten actualmente en la ontología como conceptos generales para la descripción de la naturaleza. El enfoque de atribuir propiedades a cosas no parece encajar bien con la QFT. Y en este sentido se considera que determinados conceptos de sustancia son incompatibles con la QFT. Una propuesta que se acerca considerablemente a la estructura de la QFT concibe los objetos cuánticos como entidades del tipo que se denomina «haces de tropos». Las entidades básicas serían entonces los *tropos*, es decir, propiedades concebidas no como universales, sino como particulares concretos (Kuhlmann, 2010: parte IV).

La QFT ha dado lugar en diversos aspectos a un abandono del atomismo, o en todo caso de su expresión mecánica, corpuscular, de la física clásica. Por otra parte, hay aspectos de la relación materiaforma que pueden volverse de nuevo fecundos para la comprensión de la QFT. Una de las ideas centrales de la teoría cuántica y de la QFT es que los microobjetos fundamentales del universo, o sea los objetos cuánticos, cada vez son menos asibles con independencia del aparato matemático y los experimentos de esas teorías. Es sobre todo por medio de las estructuras matemáticas empleadas en la descripción de estados como captamos el micromundo. Pero los estados caracterizados matemáticamente son todavía estados de *algo*. Este «algo» no puede ser empero concebido fuera de la teoría, y en particular no puede serlo por medio de analogías del mundo cotidiano. La materia es, considerada desde esta perspectiva, el objeto de referencia de la teoría, si bien la relación semántica no puede ser analizada en detalle. En el plano fundamental, la materia actualmente solo nos resulta accesible en relación con esas estructuras y formas.

Los componentes estructurales de la teoría han ido modificándose a lo largo de la historia de la física. No pueden ser determinados *a priori*, ni tampoco pueden ser tomados simplemente de la experiencia. La suposición de que serían una consecuencia de nuestras estructuras subjetivas de pensamiento

no parece encajar bien con su muy específica función en la física. Por el contrario, en el marco de una teoría realista del conocimiento parece plausible fundamentar hasta cierto punto el éxito de la teoría por medio del supuesto de que las estructuras se ajustan a la naturaleza.

Se interprete como se interprete la ontología de la QFT, uno puede quedarse con que muchas de las caracterizaciones clásicas de la materia en la Edad Moderna se han perdido. La materia existe en el espacio, pero el tamaño exacto y la figura de los objetos cuánticos se encuentra indeterminada de una manera característica. Por ello el micromundo resulta no visualizable en una manera que no se conocía en las teorías atómicas precedentes. También las teorías atómicas de la Antigüedad explicaban lo visible con ayuda de lo invisible, pero los dos ámbitos podían ser conectados por medio de analogías espaciales.

La impenetrabilidad de las partículas materiales que nos resulta familiar en el ámbito cotidiano no se da en todo caso en el micromundo (y resulta explicable solo macroscópicamente, como un efecto dinámico). Las partículas elementales no son indestructibles, sino que la teoría puede describir su producción y destrucción. Por eso ya no hay ningún criterio experimental para la composición. Si en una reacción nuclear se emite una partícula fundamental, esta no tenía que existir ya anteriormente en el núcleo. También el espacio vacío ha cambiado de significado. El vacío cuántico es un estado especial del campo cuántico. En él ocurren, expresado de forma intuitiva, procesos de creación y destrucción. No hay ninguna respuesta sencilla a la pregunta por las fronteras de la divisibilidad: Para determinados niveles de energía existen partículas fundamentales, que no pueden ser ya descompuestas. Pero se sigue de las llamadas teorías de campo efectivas que, dependiendo del nivel de energía, son distintas las teorías especiales efectivas, y con ello son distintas las partículas que deben ser consideradas como fundamentales.

Finalmente, la clásica contraposición de radiación y materia (fuerza y material) ha sido disuelta completamente, en tanto

que los campos electromagnéticos resultan descritos por el mismo tipo de teoría que, por ejemplo, los electrones o los protones.

3.3. **Materia compleja**

La aplicación de la teoría de la gravedad de Einstein al universo como un todo permite formular por vez primera una teoría que describe una dinámica del contenido material del cosmos (por ejemplo la expansión), y con ello describe y explica su desarrollo temporal, e intenta, por ejemplo, un enunciado sobre la edad del universo. Esta cosmología física posibilita junto con la teoría de la gravedad y la física cuántica especulaciones con fundamento sobre el modo en el que el estado actual del universo con sus campos y partículas elementales se ha desarrollado a partir de un denso y caliente estado inicial (como resultado de una «Gran Explosión»). También las estructuras organizadas tales como las estrellas y los planetas parece que pueden hacerse comprensibles sobre esa base4.

Distintos modelos moleculares muestran posibles vías de la materia inerte a la materia viva. La bioquímica y la biología molecular han logrado grandes éxitos en la explicación de los procesos vitales, tanto en organismos sencillos como algas, virus y bacterias como en formas superiores animales y vegetales. Mecanismos de evolución (autoreplicación, mutación, selección) explican adaptaciones y circuitos funcionales por medio de la interacción de componentes materiales en sistemas complejos (Mainzer, 1996, caps. V-VII). Visto así, se puede hablar de un proceso de autoorganización de la materia, es decir, de un proceso que conduce naturalmente desde las partes simples a totalidades como los organismos vivos, que poseen nuevas y sorprendentes propiedades5.

En la actual filosofía de la mente (Beckermann, 2008) predomina más bien la posición de que también la conciencia y la mente pueden concebirse como un resultado de este proceso de autoorganización de la materia. Pero en las discusiones de los últimos decenios también se ha puesto de manifiesto con claridad que sobre los fenómenos de la conciencia y las acciones

humanas no puede hablarse como de otros procesos naturales, sino que hacen falta métodos, sistemas conceptuales y formas de explicación que no están disponibles en las ciencias naturales6.

4. **La materia como tema de las ciencias naturales y de la filosofía**

Hemos visto cómo se han desarrollado concepciones de la materia en el contexto de la confrontación teórica y práctica con la naturaleza. La filosofía tematiza, en la teoría del conocimiento, si podemos, y en qué medida podemos, derivar de nuestras experiencias el modo de ser de la materia, y qué consecuencias posee el cambio manifiesto de las concepciones de la materia de cara a la credibilidad de nuestras concepciones actuales. En la ontología se investiga si cabe, y en qué medida cabe, reducir la multiplicidad de los fenómenos a procesos materiales, o si, junto a la materia, es preciso asumir la existencia de otros ámbitos independientes de la realidad. ¿Qué esquemas fundamentales de pensamiento, y qué formaciones generales de conceptos se presuponen en las teorías científicas? ¿Y cómo puede discutirse acerca de esos supuestos más generales? Los patrones generales de formación de teorías, tales como la acción a distancia y la acción por contacto, los átomos y el espacio vacío, la materia corpuscular y los campos, pueden aplicarse en distintas teorías físicas y tienen una especie de vida propia a lo largo de la historia. Tales patrones son influidos por tradiciones filosóficas, que abren posibilidades de pensamiento. Pero las características específicas de las teorías de la materia reciben, sin embargo, también la influencia del estado de desarrollo de las matemáticas en cada caso, las posibilidades técnicas de la experimentación y la fuerza explicativa de las teorías físicas. La filosofía de la naturaleza tiene como tarea reunir los resultados de los distintos ámbitos de la investigación en una imagen global de la naturaleza. En este camino, la imagen que podamos formarnos de la materia también es importante de cara a entender al hombre como parte de la naturaleza.

---

1 Tradución de Francisco Soler Gil.

2 Agradezco a Wolfgang Detel, que me ha apoyado

generosamente con sus amplios conocimientos sobre la historia del concepto de materia, a Anne Thaeder por su ayuda en la redacción final, y especialmente a Francisco Soler por la traducción. Gracias también a la editorial Karl Alber por el permiso de emplear para esta contribución buena parte de mi artículo *«Materie»* en el segundo tomo de *Neuen Handbuch philosophischer Grundbegriffe*, editado por Petra Kolmer y Armin G. Wildfeuer, Friburgo/Munich 2011.
3 En relación con la historia de la antigua teoría física y de la materia, véase Jammer, 1974; Sambursky, 1962. Para la historia general de la teoría de la materia, véase McMullin, 1965; 1978; Toulmin; J. Goodfield 1962.
4 Sobre la cosmología consúltese la contribución de Francisco José Soler Gil en este libro.
5 Sobre los sistemas, complejos consúltese la contribución de Meinard Kuhlmann en este libro.
6 Sobre la relación mente-cerebro consúltese la contribución de Brigitte Falkenburg en este libro.

IV. **Las leyes de la Naturaleza**

Rafael Andrés Alemañ Berenguer

Universidad de Alicante

El archifamosos físico Albert Einstein dejó escrita en cierta ocasión —tomándola de su paisano, el filósofo alemán Inmanuel Kant—una observación según la cual sin la existencia de regularidades en la naturaleza sería imposible distinguir nuestra conciencia, nuestro yo interior, del mundo externo. Es dudoso incluso que la propia noción de mundo externo hubiese surgido en nosotros, si el universo se comportase del modo caótico en que suelen hacerlo el revoltijo de anhelos, ocurrencias, temores y ensoñaciones que nos llevan a reconocernos como nosotros mismos. Difícilmente diferenciaríamos entre la vigilia y los sueños, por ejemplo, de no ser por la uniformidad que rige la primera frente a la caprichosa variación de los segundos.

Esas regularidades que nos permiten construir el concepto de un mundo independiente de nuestros pensamientos, se han venido a denominar con el tiempo «leyes de la naturaleza». Aun siendo un nombre controvertido, el hecho es que tales regularidades existen, y en la medida en que así ocurra tendremos la esperanza de alcanzar algún grado de conocimiento científico sobre la naturaleza, lo que no es poco. Los seguidores del filósofo y matemático Pitágoras (s. VI a.C.), afirmaron que la genuina realidad del universo residía en los números, y eran las matemáticas, por tanto, las que nos abrirían el camino a su comprensión definitiva. Se inició así la tradición de considerar la matemática como el instrumento fundamental para el entendimiento del cosmos; una tradición —justo es reconocerlo— que hasta ahora nunca nos ha defraudado.

Platón heredó buena parte de la fascinación pitagórica por el poder explicativo de los entes ideales, ampliando su repertorio más allá de los números hasta abarcar las figuras geométricas y en general toda clase de conceptos abstractos, de los cuales el mundo material se consideraba un pálido reflejo. El curso de la naturaleza seguía sin duda los patrones establecidos por esos

entes ideales como garantía de perfección matemática. Así quedó admitido que los astros debían describir trayectorias circulares en torno a la Tierra —inmóvil en el centro del universo— ya que la circunferencia era la figura más distinguida de la geometría plana: su curvatura es constante en todos sus puntos, equidistantes del centro, y contiene la mayor superficie con el menor perímetro.

El modelo astronómico de Ptolomeo de Alejandría (s. II d.C.) se empeña en representar el movimiento de todos los planetas entonces conocidos mediante una combinación de circunferencias dentro de otras circunferencias —los epiciclos— con el propósito de salvaguardar un principio estético, un cierto sentido de la perfección matemática, lo que en sí mismo supone una primera guía en la búsqueda de leyes en la naturaleza. De hecho, la expresión «leyes naturales» aparece por primera vez con tono irónico en boca de Calicles, uno de los personajes del diálogo platónico *Gorgias* (escrito en el siglo IV a.C.), quien considera que no cabe hablar propiamente en la naturaleza de leyes, artificios humanos inventados para que los individuos se atengan a ciertas normas y puedan vivir provechosamente en sociedad.

La ciencia aristotélica se inclinó a conceder un mayor papel a la observación de los fenómenos naturales, si bien era un tipo de observaciones que hoy juzgaríamos en general poco sistemáticas. Siendo mejor biólogo que físico, Aristóteles (s. IV a.C.) concibió el universo al modo de un organismo vivo, que como tal dirigía sus acciones hacia alguna finalidad determinada. El mundo aristotélico era teleológico en el pleno sentido del término, pues los fenómenos ocurrían con un propósito concreto: los objetos pesados tienden a moverse hacia abajo y los ligeros hacia arriba porque esos son sus respectivos lugares naturales (Russell, 1947). Las tendencias inmanentes ocupan el lugar de las leyes naturales, sometidas además a la rígida separación entre el mundo terrestre —de la Luna hacia abajo— imperfecto y corruptible, y el mundo celeste —de la Luna hacia arriba— inmutable y perfecto, cuyas normas de conducta eran radicalmente distintas. Desde luego, se trataba de

una visión opuesta por completo a la que inspiraría el nacimiento de la ciencia moderna dos mil años después.

El eclipse cultural ocasionado por la caída del Imperio Romano sumió a Occidente en un largo periodo de letargo científico del que lentamente se fue recuperando en la Baja Edad Media (s. XI al XV). Hubo que esperar hasta el Renacimiento para que floreciesen de nuevo los impulsos intelectuales que mejor sirvieron a la filosofía de la naturaleza, como la devoción por el conocimiento puro, el deleite en la contemplación racional del mundo y la seducción del pensamiento matemático. El italiano Galileo Galilei (1564-1642) reunía en grado sumo esas tres cualidades, por lo que no es extraño que sea considerado uno de los protagonistas de la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII, nombre que recibe la drástica modificación de nuestra perspectiva sobre el conocimiento del universo. Tanto Galileo como su continuador, el inglés Isaac Newton (1643-1727), inauguraron lo que hasta hoy se tiene por el canon metodológico de la ciencia moderna, una feliz aplicación de razonamiento matemático a datos medibles obtenidos o bien de la observación directa de los fenómenos, o bien de su reproducción en condiciones controladas (experimento de laboratorio).

La influencia que la Iglesia medieval tuvo durante tantos siglos de predominio absoluto, contribuyó a forjar la noción de «ley natural» como una manifestación de la voluntad divina, lo que concedía una cómoda legitimidad a los estudiosos del tema. Si las regularidades del cosmos apuntaban a un legislador sobrenatural, descubrir esas pautas equivalía a aclarar su divina voluntad, y pocos objetivos había tan nobles para filósofos y científicos (Ott, 2009). Ese era el ánimo que inspiraba a Galileo al afirmar que el universo es un libro escrito en lengua matemática, dando por descontado que el escritor de la obra era el Todopoderoso. Más explícito aún fue Newton cuando atribuyó al espacio y al tiempo absolutos de su mecánica la categoría de órganos sensoriales de dios (*Sensorium Dei*). Tal como nosotros utilizamos nuestros cinco sentidos para relacionarnos con todo cuanto nos rodea, así el Creador se sirve del espacio y el tiempo

para interaccionar con el mundo material; y es, de hecho, la continua intervención divina la que mantiene los planetas en sus órbitas, corrigiendo los desajustes provocados por sus mutuas atracciones gravitatorias.

Esta imperfección tan poco elegante en unas leyes naturales instauradas por una deidad perfecta, fue pasada por alto en las obras de los sucesores de Newton, más ocupados en profundizar en las consecuencias de las leyes del movimiento y de la gravitación descubiertas por el genio inglés. Los llamados «geómetras» del siglo XVIII —una mezcla de matemáticos y filósofos de la naturaleza— eran sin duda tan piadosos como Newton, pero procuraban separar sus creencias religiosas de su ejercicio profesional como científicos. La separación comenzó a acentuarse con el célebre comentario del científico francés Pierre-Simon de Laplace (1749-1827), quien al ser interrogado por Napoleón sobre el papel de Dios en su teoría astronómica, respondió sencillamente que no había tenido necesidad de recurrir a esa hipótesis. Laplace se refería a que sus cálculos permitían explicar la estabilidad de las órbitas planetarias sin intervenciones sobrenaturales, a diferencia de Newton. Sin embargo, los librepensadores de toda Europa se apresuraron a tomar esas palabras como una declaración de hostilidades contra la fe religiosa.

Si Dios como legislador resultaba superfluo, entonces cabía dudar también de las leyes naturales como edictos de un creador omnipotente. No es que se dudase de la existencia de regularidades en la naturaleza; más bien se ponía en cuestión que tales regularidades fuesen propiedades objetivas del universo y no invenciones humanas derivadas de nuestro afán por organizar los fenómenos que nos rodean. Esta opinión fue llevada a su más rigurosa aplicación a comienzos del siglo XX por la corriente filosófica denominada neopositivismo, cuyos partícipes sostenían que las leyes naturales son tan solo enunciados descriptivos de regularidades en los fenómenos que nos permiten agrupan nuestras percepciones de una manera cómoda y conveniente para realizar predicciones sobre el curso de la naturaleza. Los neopositivistas, enfrascados en conectar

todo concepto científico con descripciones de vivencias personales o con enunciados observables, se vieron en un callejón sin salida al advertir que su empeño era inviable (Bunge, 2007).

La escuela neopositivista también fue firme partidaria de la inducción como método central de adquisición e conocimiento científico. Explicado someramente, se supone que tras la observación de un cierto número de hechos particulares se puede generalizar estableciendo leyes que abarquen todos los fenómenos de un mismo tipo, tanto los observados como los que no. Un ejemplo muy obvio es la observación del ciclo día-noche; cualquiera puede observar que el día sigue a la noche y viceversa, una jornada tras otra desde tiempos inmemoriales. Es fácil sentirse tentados a razonar inductivamente declarando que el ciclo día-noche es perpetuo. De hacerlo así caeríamos en el error de olvidar que la observación un número indefinido de casos particulares no garantiza que el siguiente caso deba cumplir la misma regla (No había días o noches antes de la formación de nuestro planeta, ni los habrá cuando este desaparezca). La inducción no encierra más que la expectativa —razonable, si se quiere— de que los sucesos acaecidos hasta ahora de una cierta manera seguirán ocurriendo en adelante del mismo modo. Esto puede parecernos subjetivamente probable, pero no entraña certeza en modo alguno, como subrayó el filósofo inglés David Hume (1711-1776).

En la orilla metodológica opuesta se situarían los deductivistas, fieles al ideal aristotélico de una ciencia que justifique por qué las cosas son como son. Ahora se parte de unos primeros principios, o axiomas, cuya veracidad se juzga garantizada por una intuición puramente intelectual («Son evidentes por sí mismos», suele decirse). Con esa base, las explicaciones de los fenómenos específicos se deducirían como una implicación lógica de esas premisas iniciales indudables. Aquí es obvio también que por muy incuestionables que nos parezcan unos axiomas, nada obliga al mundo natural a obedecerlos, lo que nos aboca a depender siempre de la confirmación experimental para las leyes así obtenidas (Clarke,

1986).

Parece claro que a la hora de elaborar una teoría científica la mejor elección se encuentra en una mezcla de ingredientes abstractos y otros directamente relacionados con la experiencia. Así ocurre porque las leyes naturales se entretejen para formar las teorías que la ciencia nos ofrece sobre las diferentes parcelas de la realidad. O al contrario, si preferimos contemplar el proceso a la inversa, las leyes naturales serían las consecuencias lógicas —los teoremas— de los postulados sobre los cuales los científicos construyen sus teorías acerca del mundo natural.

Por eso en la actualidad, el estructuralismo prefiere concebir las teorías científicas como estructuras matemáticas, algunas de cuyas partes pueden someterse a contrastación experimental (Sneed, 1979). Si una de estas estructuras supera de la prueba de la experiencia, se considerará una teoría válida hasta que alguna nueva evidencia la desacredite. En ese caso los investigadores podrán optar por modificar total o parcialmente esa teoría, o incluso por desecharla del todo y sustituirla por otra estructura más potente y abarcadora. La idea de aproximación a la verdad se entiende desde esta perspectiva como una sucesión de tales estructuras que converge hacia la estructura real y objetiva del mundo físico. Que tenga sentido hablar de una estructura objetiva para el mundo natural1, y —de tenerlo— si de hecho se da esa convergencia, son temas centrales de discusión en la filosofía de la ciencia que distan mucho de haber quedado resueltos.

1. LEYES Y CONVENCIONES

Según el criterio escogido, las leyes naturales pueden clasificarse de diferentes maneras (Arana, 2012). Una de las más sencillas consiste en distinguir entre leyes fenomenológicas y leyes fundamentales. La regla que establece la proporcionalidad directa entre el aumento de temperatura y la dilatación de un objeto, o la ley que en los circuitos de corriente continua —ley de Ohm— iguala el voltaje al producto de la intensidad por la resistencia, son ejemplos de leyes fenomenológicas. En ambos casos tenemos relaciones cuantitativas entre propiedades directamente medibles mediante procedimientos bien

especificados. Por otro lado se hallarían las leyes fundamentales de las que dependen estos fenómenos, que en estos ejemplos serían las que gobiernan a nivel microscópico las interacciones entre las moléculas y las cargas eléctricas de los materiales. Admitimos que las leyes fenomenológicas se deducen, tras cálculos más o menos laboriosos, de las leyes fundamentales, más profundas y por ello con mayor poder explicativo.

Verdad es que puede existir una cierta ambigüedad en el carácter fundamental de una ley, pues siempre estamos expuestos a descubrir una ley todavía más profunda que incluya la anterior. La elasticidad de los sólidos puede justificarse sobre la base de la mecánica de medios continuos, pero a su vez cabe remitir esta teoría a la física del estado sólido, que aborda al problema en términos microscópicos más realistas. También la ley de Ohm se explicaría mediante las ecuaciones clásicas del electromagnetismo, en cuya base ahora sabemos que se encuentra la más potente electrodinámica cuántica. A apreciar estos matices ayuda la distinción entre leyes y meta-leyes (Bunge, 1967), donde estas últimas regulan la forma que pueden adoptar las primeras para considerarse aceptables. La segunda ley de la termodinámica sobre la entropía, el principio de relatividad o la conservación de la energía, son ejemplos de meta-leyes, es decir, requisitos ineludibles para que un enunciado sobre la naturaleza sea siquiera tomado en cuenta como posible ley. Cualquier hipotética ley de rango inferior debe someterse a los dictados de esas meta-leyes si ha de tener alguna esperanza de verosimilitud. Una conjetura física plausible no tiene garantizado su ascenso a ley natural si las cumple, pero de infringirlas queda inmediatamente descartada.

Una fuente de ambigüedad más delicada en las leyes de la naturaleza fue advertida ya por el brillante físico-matemático y filósofo francés Henri Poincaré (1854-1912) con el nombre de «convencionalismo» y enlaza con la infradeterminación teórica, es decir, la existencia de descripciones teóricas contrapuestas de los mismos fenómenos sin que exista —en principio— un procedimiento empírico unívoco para dirimir la cuestión. El ejemplo típico es la disyuntiva entre abordar la gravitación

mediante una geometría espacio-temporal curva, como en la relatividad general, o mediante una geometría sin curvatura más un campo de fuerzas de alcance universal2. Los convencionalistas nos dirían que el dilema no es tal, ya que todas las descripciones son equivalentes salvo por la elección arbitraria —convencional— de distintas definiciones para algunos términos básicos de la teoría. Desde su punto de vista esa elección convencional no crearía más diferencias que las existentes al medir una temperatura en grados Celsius o en grados Farenheit.

El problema de la infradeterminación teórica es serio, porque manifiesta el hecho cierto de que nuestras teorías científicas contienen una cantidad inevitable de entidades abstractas sin conexión directa con la experiencia. Esa constatación procuró a los convencionalistas su momento de gloria a mediados del siglo XX, pero hoy día se tiene una visión algo más matizada de la cuestión. Actualmente aceptamos que en la búsqueda de leyes naturales con el máximo grado de confirmación empírica debemos insertar las propiedades y relaciones del mundo material en una cierta estructura teórica, un armazón abstracto que las articule, en el cual no todo el contenido tiene siempre un contacto directo con los datos empíricos. Y si no siempre están sujetas a la contrastación experimental, ¿cómo saber si estamos introduciendo entidades teóricas superfluas?

En la práctica la respuesta descansa sobre criterios metodológicos que ayudan a los científicos a seleccionar las entidades teóricas admisibles, sin equivocarse por exceso o por defecto. La sobriedad teórica —una forma modernizada de la célebre *navaja de Ockham*—estipula una cota superior al imponernos aceptar la mínima cantidad posible de entidades teóricas que conduzcan a explicar los mismos fenómenos (Friedman, 1991). El límite inferior viene marcado por la búsqueda de suficiente potencia unificadora, esto es, la capacidad de explicar el conjunto más amplio posible de fenómenos con una misma teoría. Por eso la concepción hoy vigente no distingue entre enunciados empíricos por un lado y definiciones o convenciones por otro. Todos los elementos de la

estructura teórica (criterios metodológicos, convenciones, leyes, etc.) van envasados juntos en el mismo recipiente, y al destaparlo todos ellos entran en la misma búsqueda de unificación teórica y sometimiento a la prueba experimental.

2. SEPARABILIDAD Y CONDICIONES INICIALES

De las leyes naturales esperamos la facultad de predecir acontecimientos futuros con un grado razonable de certeza. Nadie niega que siempre habrá errores experimentales y que nuestras medidas nunca serán perfectas, pero se suponía que las leyes de la naturaleza determinaban los estados venideros del universo a partir de sus condiciones presentes con un margen de error susceptible de reducirse tanto como se quisiera. La física cuántica primero y la dinámica no lineal (popularmente conocida como «teoría del caos») después, propinaron sendos golpes fatales a esta presunción. Heredada de Newton y Laplace, la concepción mecanicista del mundo físico tomaba idealmente todo objeto como un corpúsculo puntual, y siempre cabía asignar a cada uno de ellos tres coordenadas de posición en un cierto sistema de referencia. Cuando las coordenadas dependen del tiempo el cuerpo está en movimiento, y su posición se determinará por el valor de las correspondientes coordenadas en cada instante. Dicho valor tendrá asociado un margen de error siempre acotado, o eso se suponía ingenuamente.

Nada de eso ocurre en los sistemas no lineales, donde el intervalo de error de la posición crece a un ritmo desbocado. De este modo es inevitable que al cabo de algún tiempo el margen de error sea tan grande que se pierda toda esperanza de localizar el objeto en un lugar específico. No es que el concepto de posición deje de tener sentido; más bien sucede que su cálculo carece de toda utilidad práctica y la predicción se vuelve inalcanzable. Por el contrario, uno de los rasgos típicos de la física cuántica es justamente la inexistencia del concepto posición en sí mismo, pues las entidades que trata no son corpúsculo puntuales, ni siquiera idealmente. Esa es la razón de que la expresión usual de «mecánica cuántica» resulte inapropiada. La teoría cuántica no es una mecánica en sentido estricto, dado que no existen en ella las nociones de posición o

trayectoria3.

Para nuestros fines será conveniente subrayar que la descripción de los sistemas físicos se compone de dos elementos primordiales: las leyes que regulan sus cambios y las condiciones de contorno —es decir, los datos del sistema en un instante inicial o su comportamiento en un caso conocido— que permiten aplicar dichas leyes en una situación concreta. Desde Newton se admitía sin discusión que en el comportamiento de un sistema dado, la influencia de las partes más alejadas del resto del universo resultaba despreciable. Siempre era posible, al menos en teoría, dividir el universo en porciones aisladas que no interactuasen entre sí de forma apreciable. Este principio, que podríamos llamar de *clausura*, se fundaba en la ausencia de efectos independientes de la distancia en las leyes naturales, y por tanto era una prescripción que solo concernía a las leyes de evolución del sistema.

Aunque el mecanicismo clásico solo tuviese constancia de influencias físicas que se debilitan con la distancia —gravedad y electromagnetismo— sabía muy bien que únicamente se anulan en el infinito, razón por la cual para determinar con perfecta exactitud las condiciones de contorno sería necesario conocer el efecto que ejerce la totalidad del universo sobre nuestro sistema. Por ello los antiguos mecanicistas precisaron añadir un postulado adicional asegurando que una mínima variación en las condiciones de contorno no modificaría drásticamente el resultado final previsto. Ese nuevo principio que podríamos llamar de insensibilidad a las condiciones de contorno, no atañe en absoluto a las leyes de evolución. La combinación de estos dos principios, clausura e insensibilidad, daba lugar en la física clásica a los sistemas separables.

La ruidosa irrupción de la física cuántica en el escenario científico derribó el primer postulado, y la teoría del caos dinamitó el segundo. Las correlaciones cuánticas no locales —el denominado «entrelazamiento»— introdujeron en las leyes de evolución correlaciones independientes de la distancia, mientras la dinámica no lineal convocó los demonios de la temida sensibilidad a las condiciones de contorno (el conocido como

«efecto mariposa»). La teoría cuántica es no local y por ello no consiente sistemas separables en el sentido antes discutido, pero la física del caos sí respeta el postulado de clausura aunque refute la separabilidad. El caos surge por las características no lineales de algunos sistemas físicos —es decir, por la clase de leyes que lo regulan— responsable de la sensibilidad de estos, pero sus leyes de evolución, como cualesquiera otras en la física clásica, siguen permitiendo la independencia entre regiones del universo suficientemente alejadas (Alemañ, 2014).

3. **LOCALIDAD Y NO LOCALIDAD**

El balanceo de la mano de un mago que provoca el aparente desplazamiento de un objeto alejado de él, nos convence de que se trata de un truco porque sabemos que la acción a distancia —la interacción entre objetos sin contacto mutuo— solo existe en el reino de la prestidigitación. Así pensaron quienes introdujeron en la física el concepto de campo de fuerzas para justificar la atracción entre los cuerpos celestes o las influencias ejercidas entre imanes. En tales casos creemos que no hay acción a distancia sino el efecto del campo de fuerzas que intermedia entre un cuerpo y otro. Admitimos, pues, que las leyes de la naturaleza respetan siempre un principio de localidad, esto es, toda acción se propaga de forma continua desde su fuente hacia el exterior a una velocidad finita (nunca mayor que la velocidad de la luz, *c*).

La expresión matemática del principio de localidad se encarna en el cálculo diferencial, cuyas ecuaciones rigen los cambios de una función en la inmediata vecindad de un cierto punto. El entorno de ese punto puede ser tan pequeño como se quiera —«infinitesimal», se dice a menudo impropiamente— lo que nos garantiza la posibilidad de comparar los valores de esa función (la intensidad de un campo eléctrico, por ejemplo) entre un punto cualquiera y otro arbitrariamente próximo. La operación que los matemáticos llaman paso al límite, nos garantiza que tales cálculos tienen sentido en la infinidad de puntos que rodean a cualquier otro dado (Russell, 1969).

Gracias a ello podemos vestir una gran variedad de leyes naturales con el ropaje de las ecuaciones diferenciales. Las

ecuaciones de continuidad establecen que el flujo de entrada o salida de una magnitud física en un cierto volumen espacial se equilibra con el valor de dicha magnitud que hay en su interior. O dicho de otro modo, con ellas expresamos formalmente que las cosas físicas ni salen de la nada ni desaparecen en ella. Las ecuaciones de onda, por su parte, relacionan las oscilaciones en el espacio y en el tiempo de una propiedad física cualquiera (no solo la vibración de una cuerda o de un campo electromagnético). Después, mediante el cálculo integral resolvemos las ecuaciones diferenciales y obtenemos respuestas sobre la evolución de un sistema físico en un entorno finito, con la absoluta confianza de haber respetado la continuidad de las interacciones, sin saltos abruptos ni acciones a distancia.

La naturaleza pocas veces ofrece caminos de un solo sentido, por lo que no resulta extraño que las leyes diferenciales puedan expresarse de un modo en apariencia opuesto al anterior. Revirtiendo la situación se construye ahora un espacio figurativo formado por las coordenadas de posición y las componentes de las velocidades de todas las partículas de un sistema. A continuación, en ese espacio abstracto multidimensional se estudia el conjunto de curvas que conectan el estado inicial y el final de nuestro sistema en un determinado proceso (un desplazamiento, el cambio en la intensidad de un campo de fuerzas, o lo que sea) para seleccionar mediante el llamado cálculo de variaciones aquella que se corresponde con la realidad física. Esa curva seleccionada debe cumplir un requerimiento muy concreto, y es que se anule la variación de una cantidad llamada «acción», cuyas unidades son el producto de la energía por el tiempo. Tal exigencia de variación nula se traduce en la mayoría de los casos en un valor mínimo para la acción a lo largo de esa curva multidimensional, que describe la evolución del sistema entre dos estados físicos.

Ocurre que si la acción ha de ser estacionaria, la curva sobre la cual su variación se anula ha de obedecer una cierta ecuación diferencial. Y resulta que muchas de las ecuaciones fundamentales de la física son del tipo que aparece entre las ecuaciones diferenciales del cálculo de variaciones (Alemañ,

2015). Ello permitió enunciar numerosas leyes físicas por el procedimiento de exigir un valor extremo — con frecuencia, un mínimo— de la acción. Así se reveló la posibilidad de sustituir esas leyes por enunciados equivalentes en términos del cálculo variacional, como hicieron en sus respectivas reformulaciones de la mecánica clásica Joseph-Louis Lagrange (1736-1813) y William Rowan Hamilton (1805-1865). Más tarde, el premio Nóbel de física Richard Feynman (1918-1988) desarrolló una versión de este método para los espacios abstractos donde se alojan las funciones cuánticas (el formalismo de los caminos de Feynman). Incluso en la biología evolucionista se han ensayado métodos variacionales sobre espacios abstractos, los paisajes epigenéticos, aun cuando sabemos muy poco sobre las variables relevantes en ese campo y menos aún sobre las ecuaciones dinámicas que las gobiernan.

Pese a la incuestionable potencia del planteamiento variacional, o quizás por ella misma, se plantea el interrogante de si las leyes fundamentales de la naturaleza pueden siempre deducirse de un principio de acción estacionaria. No es el caso, por ejemplo, para una de las más importantes, la segunda ley de la termodinámica, que dicta el incremento perpetuo de la entropía en sistemas aislados. Y además de ello es inevitable afrontar una cuestión que también nos persigue en otros ámbitos: ¿desvela la validez de los principios variacionales algún rasgo objetivo del universo, o simplemente funcionan bien porque somos nosotros quienes centramos nuestra atención en aquellos dominios de la naturaleza donde tienen éxito? Nadie ha conseguido ofrecer todavía una respuesta que concite el asentimiento general de los expertos.

Como las curvas del cálculo variacional no son objetos puntuales, este método debe considerase más bien «no local», es decir, concerniente a regiones finitas que abarcan más de un punto y su entorno infinitesimal. Una acepción más inquietante de la no localidad saltó a la luz pública en 1982 con los experimentos del francés Alain Aspect que confirmaron el fantasmagórico entrelazamiento cuántico. Aspect confirmó — contra las esperanzas de Einstein— que la medición de una

propiedad en una parte de un sistema cuántico alteraba el valor de dicha propiedad en el resto del sistema, sin importar la distancia de separación entre ellas. Una muchedumbre de autores sensacionalistas proclamó el retorno de la acción a distancia y la muerte del realismo como base metafísica de las ciencias naturales.

En vez de tantas alharacas hubiesen hecho mejor en advertir la diferencia entre una interacción física y el entrelazamiento, o enmarañamiento, cuántico. Este último no es una genuina interacción porque no cambia el valor global de las variables dinámicas del sistema; no se alteran los valores totales de la energía, el impulso, o la carga eléctrica, por mencionar algunos. El entrelazamiento cuántico debe contemplarse más bien como una correlación que reajusta los valores de ciertos parámetros característicos en diversas partes de un sistema cuántico con independencia de la distancia entre ellas (Bunge, 1983). Esta circunstancia en sí misma es algo insólito y sin parangón en la historia de la física, aun cuando no se trate de una verdadera acción a distancia, y son muchos los interrogantes que aún permanecen sin responder al respecto.

4. **LAS SIMETRÍAS COMO ORIGEN DE LAS LEYES NATURALES**

El segundo tercio del siglo XX fue testigo de la exitosa aplicación en la física fundamental de los grupos de simetría, una rama del álgebra antes inadvertida para la inmensa mayoría de los científicos. La idea de base no podía ser más sencilla y a la vez más ambiciosa: las simetrías despejarían el camino para distinguir entre las propiedades objetivas del mundo natural —supuestamente invariantes frente a las transformaciones de simetría— y las características debidas al lenguaje matemático empleado para describirlas. El uso de diversos métodos de cálculo, o la elección de diferentes sistemas de coordenadas, podía ocultar el hecho de que dos sistemas físicos en apariencia distintos fuesen en realidad el mismo. Ahora bien, recurriendo sabiamente a los grupos de simetría se constató que era posible dilucidar las propiedades verdaderamente esenciales de los fenómenos físicos, con independencia del planteamiento

concreto, espacio-temporal o algebraico, empleado para expresarlos.

Sucede así porque en general las simetrías dejan intactas las relaciones entre las variables de un sistema. En otras palabras, la estructura de un sistema físico es invariante frente a las transformaciones de simetría. Y ahí es donde los grupos de simetría nos permiten reunir las diversas estructuras en conjuntos cuyos elementos son todos equivalentes entre sí (clases de equivalencia). Por esa vía suele revelarse con frecuencia que sistemas aparentemente muy distintos poseen un origen común y, por tanto, unas características también compartidas. Entre esos rasgos comunes destacan las cantidades conservadas, las cuales se consideran por ello verdaderamente objetivas y típicas de los procesos físicos (Brading y Castellani, 2003).

La matemática alemana Emma Noether (1882-1935) halló unos teoremas que vinculaban las simetrías físicas fundamentales con la conservación de las magnitudes más importantes en nuestra descripción de la naturaleza. La simetría que establece, por ejemplo, la equivalencia entre cualquier par de instantes del tiempo, implica la conservación de la energía en todo sistema físico libre de influencias externas. La homogeneidad del espacio, o equivalencia entre todos los puntos espaciales —otra de estas simetrías— conlleva la conservación de la magnitud impulso (el producto de la masa por la velocidad). Y la simetría que equipara todas las direcciones en el espacio, garantiza a su vez la conservación del momento angular, otra de estas propiedades físicas fundamentales. Hay simetrías más abstractas, no directamente relacionadas con el espacio y el tiempo, como la concerniente a la «fase» —una variable angular— en las funciones cuánticas. De la simetría que nos asegura que el universo permanecería impasible si la fase de todas las funciones cuánticas cambiase a la vez en una misma cantidad, se deduce la conservación de la carga eléctrica en cualquier proceso físico.

Este último ejemplo desemboca en el fructífero terreno de las llamadas simetrías *gauge*, un tipo especial de simetrías del que

se intenta deducir la existencia de las fuerzas fundamentales de la naturaleza. Supongamos ahora que nos tomamos la libertad de cambiar la fase de las funciones cuánticas de modo distinto en cada punto del espacio. Resulta entonces que ni se conservan las cantidades que deben hacerlo ni valen las ecuaciones que deberían regir. Para evitar tan desagradable situación y permitir que la fase cambie localmente de forma arbitraria, sin infringir la conservación de la carga eléctrica, nos vemos obligados a introducir un término en las ecuaciones equivalente a un campo de alcance infinito idéntico al campo electromagnético.

En resumen, para pasar de una simetría gauge global (cambio de fase igual en todos los puntos del espacio) a una simetría gauge local (en cada punto la fase puede cambiar independientemente del resto) respetando las reglas de conservación, han de introducirse campos de fuerzas idénticos a los que realmente existen en la naturaleza. Esa es la razón de que actualmente se diga, no que las fuerzas de la naturaleza obedecen ciertas simetrías, sino más bien que las simetrías existentes en la naturaleza permiten la existencia de las fuerzas fundamentales hoy conocidas. Son las simetrías los elementos considerados básicos hoy día en la realidad física.

5. **REDUCCIONISMO, HOLISMO Y SISTEMISMO**

Desde que el griego Demócrito (s. V-IV a.C.) proclamó que solo existen los átomos y el vacío, uno de los más poderosos idearios subyacentes en la filosofía de la naturaleza ha sido el reduccionismo en sus dos acepciones principales. La primera de ellas sostiene que todo cuanto existe se compone de unos mismos constituyentes microscópicos (reduccionismo ontológico), mientras la segunda va más allá al afirmar que las interacciones entre esos microcomponentes sirven para explicar las leyes de cualquier campo del conocimiento científico (reduccionismo metodológico). Bajo ese punto de vista, la psicología —digamos— no sería más que un corolario de la neurofisiología, y esta a su vez surgiría como una aplicación particular de la química, en tanto que la química se reduciría finalmente a las leyes de la física de partículas. Casi nadie pone hoy en duda el reduccionismo ontológico como ingrediente

fundamental de las leyes naturales, pero las ambiciones del reduccionismo metodológico suelen contemplarse con profundas reticencias. No solo es que la biología o la química hayan mostrado poseer leyes específicamente propias de sus respectivos ámbitos; ocurre también que ni siquiera dentro de la propia física la reducción de unas áreas a otras se ha conseguido con absoluta nitidez. Tal es la situación en el caso de la mecánica estadística y la termodinámica macroscópica, donde la reducción de la segunda a la primera ha presentado obstáculos todavía por franquear.

Opuesto por el vértice a la doctrina reduccionista, el *holismo* (del griego *holos*, «total») o globalismo, niega la posibilidad de comprender los componentes de un sistema si antes no se ha estudiado el sistema en su totalidad. Los holistas creen que los microcomponentes de cualquier sistema físico interactúan tan estrechamente que no cabe entender sus propiedades por separado unos de otros. No es extraño que esta corriente de pensamiento recurra al entrelazamiento cuántico o a la teoría del caos para respaldar sus opiniones. Sin embargo, los avances logrados por los investigadores en sendos terrenos refutan las restricciones impuestas por los holistas al progreso de la ciencia.

En una postura intermedia se sitúa el *sistemismo*, metodología íntimamente emparentada con el materialismo emergentista. Para los seguidores de esta escuela filosófica los sistemas físicos poseen algunas propiedades reducibles a las de sus microcomponetes y otras que, no siendo enteramente reducibles en el sentido anterior, sí se deducen de la estructura del sistema y de las interacciones entre sus componentes. Esta visión permite una jerarquía de niveles de complejidad en cualquier sistema material, responsable de la autonomía de las leyes químicas, biológicas o psicológicas con respecto a las físicas (Bunge, 1989).

6. **CONSIDERACIONES FINALES**

Tras esta brevísima expedición al reino de las leyes naturales quedan numerosas cuestiones por dilucidar, cuya investigación sin duda mantendrán ocupados a los filósofos durante largo tiempo. Mencionemos, a continuación, algunas de ellas.

1.º *La uniformidad de la naturaleza*. Aceptamos que las leyes generales de la ciencia son probadas, o verificadas, por la experimentación; pero el mero hecho de su generalidad demuestra que no pueden ser probadas enteramente por la experimentación, puesto que toda experiencia es experiencia de cosas particulares. Luego necesitamos la experimentación para construir el conocimiento empírico, en conjunción con principios que no dependen exclusivamente de la experiencia. Uno de ellos es el principio de uniformidad, gracias al cual confiamos en que las leyes naturales no cambiarán de un día al siguiente ni de un lugar a otro. Sin embargo, mientras no encontremos una justificación ulterior para ese principio, nuestro entendimiento de las leyes de la naturaleza carecerá de un sustento esencial.

2.º *Clásico y cuántico*. Tras un siglo de indagaciones, paradojas como el gato de Schrödinger o fenómenos como el entrelazamiento, nos recuerdan que la transición del mundo cuántico al clásico es un problema pendiente de solución. No sabemos realmente cómo enlazan las leyes clásicas con las cuánticas, ni acaba de encajar bien la no localidad cuántica en el espacio-tiempo relativista de Einstein. Y ya que sus mediciones obedecen estrictas reglas estadísticas, ¿significa eso que hay alguna subestructura causal en la teoría cuántica todavía por desvelar? Siempre que en la física clásica hemos detectado un comportamiento sometido a leyes estadísticas, ello se debía a unas relaciones causales subyacentes que daban soporte a esas regularidades estadísticas. ¿Ocurrirá algún día lo mismo en el mundo cuántico o tendremos que admitir que la probabilidad —como arguyen los propensivistas— es un rasgo constitutivo y esencial de las cosas existentes?

3.º *Simetrías*. Los grandes grupos de simetría empleados en las teorías de unificación, son cada vez más complicados y abstrusos, hasta el punto de que algunos autores dudan de que la teoría unificadora final —de existir— conlleve algún género de inmensa simetría. Las simetrías gauge, tan exitosas en la física cuántica, resultan incompatibles con la gravitación relativista —la relatividad general— y en otros casos ha de

admitirse que el estado actual del cosmos es fruto de una ruptura de tales simetrías (como ejemplifica el famosísimo bosón de Higgs). Se dice que la simetría era respetada en los momentos iniciales del universo, aunque hoy día, en condiciones menos extremas, se haya perdido. Tampoco sabemos por qué esa ruptura de simetría se produjo igual en todos los lugares del universo (en otras palabras, por qué un protón tiene la misma masa aquí y en cualquier otra galaxia), y la pertinencia de esta estrategia en todas las áreas de la naturaleza —buscar explicaciones basadas en simetrías, conservadas o rotas—sigue esperando una justificación convincente.

4.º *Límites cognitivos*. Si la matemática es el lenguaje formal irrenunciable de la ciencia básica, teoremas como el de Gödel o el de Türing, que imponen limitaciones a nuestra capacidad de decidir la veracidad de algunos enunciados matemáticos, quizás marquen fronteras a la facultad humana de conocer. De ser así, ¿dónde están esas fronteras?, ¿y tiene sentido aspirar a un conocimiento del mundo inexpresable formalmente?

No faltan precisamente materiales para el trabajo de los filósofos de la naturaleza sobre las leyes del universo, reivindicando constantemente una célebre observación de Einstein. El sabio alemán señalaba que la mayor perplejidad no proviene de que el universo tenga leyes, sino de nuestra capacidad para escrutar siquiera una mínima parte de ellas.

1 Una visión pluralista nos recordaría que hay infinidad de estructuras conceptuales asignables al mismo sistema material.

2 Ese campo puede ser clásico, como en la gravitación newtoniana, o cuántico, como en el hipotético modelo del gravitón.

3 Con estas denominaciones los físicos cuánticos suelen referirse a aproximaciones idealizadas de los conceptos clásicos, siempre dependientes del contexto experimental.

V. **Azar y probabilidad**[1]

CLAUS BEISBART[2]

Universität Bern

¿Ha sido un mero azar el que yo me tropezara hoy en la ciudad con un viejo conocido al que no había visto desde hacía años? No sé por qué habría tenido que encontrármelo; con solo que hubiese seguido un camino un poco distinto, ya no lo hubiera visto. Pero, por otra parte, es extremadamente improbable que me haya encontrado con él sin más, puesto que ahora vive en Australia. Después de todo, quizás la cosa haya sido algo más que una simple casualidad. Tal vez él ha venido en realidad aquí por mi causa. ¿O estaba nuestro encuentro incluso predeterminado?

¿Azar o necesidad? Esta pregunta desempeña un papel importante, no solo en nuestras reflexiones acerca de nuestra vida cotidiana. Los términos «azar» y «necesidad» caracterizan también la reflexión humana sobre la naturaleza en su conjunto. Se trata, por tanto, de conceptos clave de la filosofía natural. ¿Obedece la naturaleza de forma necesaria y sin excepciones a las leyes de la naturaleza vigentes? ¿O juega también el azar un papel en la naturaleza? Según una tesis del filósofo Leucipo, que vivió en el siglo quinto antes de Cristo, todo ocurre de forma racional y necesaria (Taylor, 1999: 3). En su famoso bestseller *Le hasard et la nécessité* (1970) afirmó por el contrario el bioquímico francés Jacques Monod, que el azar desempeñó en el origen de la vida un papel mayor del que nos inclinamos a asumir. Por lo general, el hombre busca en exceso la necesidad y las explicaciones exhaustivas, y no puede acostumbrarse al pensamiento de que mucho procede del azar.

Cuando reflexionamos en la actualidad acerca de la pregunta de si el azar gobierna en la naturaleza, y hasta qué punto lo hace, resulta adecuado consultar los conocimientos científicos. En especial podemos preguntarnos qué dicen las teorías científicas sobre el azar. ¿Lo aceptan o lo excluyen?

Ahora bien, el concepto de azar no es un concepto

estrictamente científico; y no aparece en la formulación de muchas teorías y modelos. No obstante, el concepto de azar se encuentra ligado al de probabilidad. Y así, en la vida cotidiana se considera la extracción de números en la lotería como un acontecimiento azaroso, y para los resultados, esto es, para los números de la lotería, se proporcionan frecuentemente probabilidades. Y las probabilidades sí que se usan de buena gana en las ciencias. En numerosos modelos de biología y física se emplea, por ejemplo, el llamado «ruido blanco gaussiano», que se caracteriza por unas determinadas probabilidades. El concepto de probabilidad posee una prominencia particular en la mecánica cuántica y en la física estadística. Y puesto que las probabilidades se encuentran relacionadas con el azar, y son empleadas en la descripción de la naturaleza, parece por tanto que el azar también rige en la naturaleza.

¿Pero se puede responder verdaderamente de una forma tan sencilla a la pregunta por el azar en la naturaleza? ¿Qué queremos decir en realidad, cuando hablamos de azar? ¿Y qué significa el que las teorías científicas proporcionen probabilidades? ¿Cómo hay que entender esas probabilidades?

Tales preguntas nos conducen fuera de las ciencias naturales. Son tratadas en la filosofía de la naturaleza y en la filosofía de la ciencia. Y precisamente en las últimas décadas se ha desarrollado una intensa discusión sobre el concepto de probabilidad. El objetivo de este capítulo es introducir nuevas interpretaciones del concepto de probabilidad, discutirlas críticamente, y relacionarlas con la pregunta por el azar en la naturaleza. Nos centraremos aquí en el tratamiento de las teorías físicas.

En el apartado 1 se desarrolla una mínima preconcepción de los conceptos de azar y probabilidades. Diferentes interpretaciones de las probabilidades se discuten en los apartados 2 a 6. Y en el apartado 7 se extrae una conclusión preliminar.

1. **LOS CONCEPTOS DE AZAR Y PROBABILIDAD**

No es ninguna casualidad que el concepto de probabilidad se encuentre notablemente más representado en las ciencias que el

concepto de azar. Pues este último satisface una lógica binaria: algo es o no es azaroso. Por el contrario, las probabilidades se dejan escalonar y permiten así una mayor precisión. De modo que podemos decir que un determinado acontecimiento es más probable que otro. En muchos ámbitos de la física, por ejemplo en la mecánica cuántica, se asocian a determinados acontecimientos exactamente ciertas probabilidades numéricas. Y así, la probabilidad de que el *spin*, o momento angular propio, de un electrón en comparación con el aparato de determinado experimento apunte hacia arriba asciende al 50%. De manera más general, la mecánica cuántica proporciona una distribución de probabilidad para cada magnitud como el *spin*, el impulso o la posición, a partir de la cual pueden calcularse las probabilidades de todos los resultados posibles de las medidas. Para nuestros propósitos, podemos limitarnos en lo sucesivo a atribuciones de probabilidad, o enunciados de probabilidad, que tienen la forma siguiente:

La probabilidad de que ocurra un evento *e*, es *p*.

Aquí *p* es un número real que proporciona el valor de la probabilidad. Un posible evento, o suceso, *e* podría ser, por ejemplo, que obtengamos un 6 al arrojar un dado. Los sucesos hay que entenderlos aquí en un sentido muy amplio; uno puede por ejemplo considerar como un suceso el que arrojar un dado nos dé 6 y arrojar luego otro dado nos dé 3.

A causa de su carácter cuantitativo, las probabilidades son estudiadas por las matemáticas. Ahí se define en primer lugar un espacio de resultados, o muestral (en inglés: *sample space*). Contiene todos los posibles resultados elementales que pueden darse en un determinado contexto, en el caso del lanzamiento de un dado, por ejemplo, los resultados 1, 2, 3, 4, 5 y 6. A partir de ahí se obtiene, por medio de una construcción de conjuntos, una, así denominada, *álgebra de sucesos*. Esta abarca todo lo que consideramos eventos. Los sucesos pueden ser individualizados ahí de una forma bastante grosera. Por ejemplo, arrojando una sola vez el dado, el álgebra de sucesos incluye el suceso de que el resultado del lanzamiento es un número par. Al álgebra de sucesos pertenece incluso el evento de que el resultado del

lanzamiento es 1, 2, 3, 4, 5 o 6. Este evento es denominado con frecuencia el *suceso seguro* (Kolmogorov, 1956: cap. I-II).

En el cálculo matemático de probabilidades, las probabilidades son entonces contempladas como funciones que le asignan a cada suceso del álgebra de sucesos un número real. El número no debe ser menor que 0, pero tampoco mayor que 1. Además, deben cumplirse los siguientes requisitos: En primer lugar, la probabilidad del suceso seguro debe ser 1. En segundo lugar se impone lo siguiente: Si los eventos *e1* y *e2* no pueden darse juntos, entonces la probabilidad de que se ocurra *e1* o *e2*, debe ser la suma de las probabilidades de *e1* y *e2*. Si, por ejemplo, en el caso de un dado, la probabilidad de cada resultado del 1 al 6 es la misma, es decir, 1/6, entonces la probabilidad de obtener 1 o 6 es 1/3.

Las reglas empleadas aquí para introducir el concepto matemático de probabilidad son los llamados *axiomas de Kolmogorov* (Kolmogorov, 1956: caps. I-II). En ocasiones se usan también otras reglas algo diferentes para las probabilidades3.

Las probabilidades que acabamos de definir se denominan incondicionadas. A partir de ellas se derivan del modo siguiente probabilidades condicionadas: Si divido la probabilidad de que ocurran los eventos *e1* y *e2* —llamémosla *p(e1 & e2)*— por la probabilidad *p(e2)* de que ocurra *e2*, entonces el resultado es *p(e1 & e2)/ p(e2)* la probabilidad condicionada de que ocurra *e1* bajo la condición de que ocurra *e2*. Esa probabilidad se escribe con frecuencia *p(e1 & e2 | e2)*.

Por tanto, en nuestro ejemplo del dado, la probabilidad condicionada de que un lanzamiento dé 3, supuesto que el resultado es un número impar, es 1/3.

Uno podría opinar que el concepto de probabilidad se encuentra completamente especificado por medio de los axiomas de Kolmogorov. Pero este no es el caso. Ciertamente, los axiomas limitan la asignación de probabilidades. Y así, en el caso del dado, uno no puede asignarle tanto al 1 como al 6 la probabilidad 0,7. Pero las matemáticas permiten que la probabilidad de 1 sea cualquier número dentro del intervalo [0,1]. Si yo por tanto insisto en que un cierto dado tiene una

probabilidad del 20% de que salga 1, entonces estoy opinando algo que va más allá de las meras matemáticas de las probabilidades. ¿Pero qué es lo que estoy opinando con eso?

2. LA PROBABILIDAD COMO GRADO DE CONVENCIMIENTO

Con frecuencia empleamos el concepto de probabilidad para expresar cuán seguros estamos de una cosa, o hasta qué punto nos convence. Cuando digo que es muy probable que mañana llueva, estoy con frecuencia expresando lo siguiente: Yo no sé si mañana va a llover, pero estoy bastante seguro de que eso va a ocurrir. Ahora bien, aquí no estamos todavía ante probabilidades especificadas numéricamente. Sin embargo, si uno relaciona mi seguridad de que va a ocurrir un determinado acontecimiento con mi disposición a apostar determinadas cantidades de dinero a que dicho acontecimiento ocurrirá, entonces puede de hecho medirse mi seguridad por medio de valores numéricos de probabilidad. La idea es que, cuanto más dinero estuviera dispuesto a apostar por la victoria de un equipo de fútbol, tanto más convencido estaría de que de hecho va a ganar. Planteamientos de este tipo fueron desarrollados por Ramsey (1926) y de Finetti (1931a, 1931b, 1964). Hoy en día son empleados en el marco de la denominada «epistemología bayesiana» (Hájek; Hartmann, 2010).

Con esto nos hallamos ante una primera interpretación completa del concepto de probabilidad4: Las probabilidades son grados de convencimiento. Cuando una persona le atribuye a un evento una probabilidad de 1 entonces es que está segura del asunto. Y, a la inversa, está segura de que el evento no ocurrirá, si le concede una probabilidad 0. Todas las probabilidades entre 0 y 1 expresan por el contrario un desconocimiento, una inseguridad acerca de si ocurrirá el evento. También estas probabilidades tienen una clara importancia para la vida práctica. En particular, se pueden incorporar a nuestras decisiones. En la teoría de las decisiones se pretende entender eso de forma más precisa. En general, se puede decir que las probabilidades, en nuestra primera interpretación, tienen algo que ver con el manejo de la ignorancia.

Nuestra interpretación nos indica aquí no solo lo que

entendemos por una atribución de probabilidad. Además de eso, también puede hacer un poco más comprensible por qué se aplican los axiomas de la teoría de la probabilidad. Se puede demostrar que una persona que viola los axiomas de la teoría de la probabilidad con sus grados de convicción pierde dinero necesariamente, si se le proponen apuestas adecuadas (Mellor, 2005: apartado 5.3). Una persona así es, en cierto sentido, no racional. Y, por el contrario, se verifica que las probabilidades que expresan los grados de convencimiento de una persona racional satisfacen los axiomas del cálculo de probabilidades.

Es indiscutible que las atribuciones de probabilidad se dejan a veces interpretar como expresiones de seguridad o inseguridad. Precisamente en la vida cotidiana empleamos el concepto de probabilidad con frecuencia porque no conocemos algo con seguridad, y por tanto solo podemos expresar hasta qué punto estamos seguros del asunto. De modo análogo, en la vida cotidiana solemos hablar de azar para indicar que no sabemos cómo es que llegó a ocurrir un determinado suceso. Sin embargo, en relación con los resultados científicos, nuestra primera interpretación del concepto de probabilidad es poco plausible. Y ello ocurre porque es epistémica, esto es, porque liga las probabilidades a un sujeto del conocimiento, que expresa cómo de convencido está de algo. Pero los resultados científicos los tomamos por regla general como resultados sobre la naturaleza, y no como expresión de cuán seguro se encuentra uno de algo. Cuando, por ejemplo, la mecánica cuántica proporciona una determinada probabilidad para un determinado resultado de una medida, vemos esto como un hecho objetivo. La medida en que estoy convencido de que se va a producir un determinado evento se encuentra, por contraste, demasiado orientada a la voluntad subjetiva.

Pero la interpretación epistémica no se deja apartar de un modo tan sencillo. Pues, en la medida en la que un sujeto epistémico es racional, se atiene a determinadas reglas para calcular los valores de las probabilidades. Y entonces los partidarios del concepto epistémico de la probabilidad argumentan que, junto con los axiomas del cálculo de

probabilidades, existen otras reglas adicionales a las que tenemos que someternos. La denominada «actualización bayesiana» es, por ejemplo, una regla que indica cómo hemos de adaptar nuestras probabilidades para una suposición, si obtenemos nuevos datos relacionados con dicha suposición (Hájek; Hartmann, 2010: 94 ss.). Pero esta importante regla solo especifica cómo hemos de cambiar, sobre la base de nuevos datos, las probabilidades anteriores, o la llamada probabilidada *a priori*. De manera que, cuando dos personas parten de diferentes probabilidades previas, también se diferencian luego en la mayor parte de los casos las probabilidades que han adaptado a los datos. De ahí que los partidarios del enfoque epistémico hayan propuesto reglas adicionales mediante las cuales podemos establecer racionalmente las probabilidades previas. Una de estas reglas, el llamado «principio de indiferencia», dice a grandes rasgos que asignamos la misma probabilidad a todas las hipótesis en competencia y compatibles con los datos, en tanto que no existan razones para preferir algunas de las hipótesis (Gillies, 2000: 33-37). Según esa regla deberíamos por ejemplo asignar a cada uno de los tres candidatos a la presidencia la misma probabilidad de victoria, 1/3, salvo que contáramos con razones adicionales para estar más convencidos de la victoria de uno de los candidatos. Un desarrollo ulterior del principio de indiferencia consiste en la regla de maximización de la llamada «entropía», como ha defendido por ejemplo E.T. Jaynes (1957) de forma destacada. La entropía es una magnitud que se puede calcular sobre la base de una distribución de probabilidad. Es mayor cuanto menos conocimiento expresa una distribución de probabilidad. Es máxima cuando a cada evento elemental le asigna la misma probabilidad, exactamente como exige el principio de la indiferencia. De hecho, en la mecánica estadística se maximiza la entropía para determinar la probabilidad de que un sistema de muchas partículas se encuentre en un estado determinado. Parece, por tanto, que con una interpretación epistémica de las probabilidades se llega al final más lejos de lo que parecía a primera vista. También con respecto a la mecánica cuántica hay

un enfoque que parte de que las probabilidades mecanocuánticas finalmente solo reflejan lo que un sujeto racional debería pensar acerca de los resultados de las medidas (Fuchs; Schack, 2011).

Sin embargo, solo hay pocos que piensen que la interpretación epistémica sea adecuada con respecto a la física. Pues la física eleva la pretensión de describir la naturaleza tal y como es con independencia de nosotros, y parece que cumple tal pretensión con bastante éxito. De ahí que cuando los físicos incluyen probabilidades en sus teorías, y pueden ponerse de acuerdo sin problemas sobre el valor de las probabilidades, resulte tentador ver la explicación de esto en la naturaleza misma. La idea es que realmente hay tal cosa como las probabilidades en la naturaleza, que a su vez son reflejadas en las teorías y modelos. Si eso es correcto, entonces hay hechos objetivos sobre los valores de las probabilidades. Existen tales hechos, independientemente de lo que un sujeto del conocimiento piense sobre ellos. Las probabilidades correspondientes se suelen denominar ónticas. Pero ¿qué son exactamente las probabilidades ónticas? ¿Qué significa que una probabilidad, que es parte del mundo con independencia de todos los sujetos de conocimiento, tiene un valor de 1/2? Para esta cuestión hay varias respuestas.

3. **LA PROBABILIDAD COMO FRECUENCIA**

Cuando uno pregunta a los estadísticos o a los científicos qué es lo que entienden por probabilidades, a menudo lo que se escucha es que se trata simplemente de frecuencias relativas (Hájek, 1997: 210). La probabilidad de que al arrojar un cierto dado se obtenga 6 sería entonces simplemente la proporción de 6 entre los resultados obtenidos en todos los lanzamientos de ese dado efectuados en cualquier momento. Esta es una cifra independiente de lo que pensemos sobre el dado y su comportamiento, puesto que cuántas veces se arroje el dado, y cuántas veces salga 6, es un asunto de hechos independientes de nuestras convicciones. Naturalmente, no podemos determinar de verdad la probabilidad de que nuestro dado dé 6 mientras que el dado siga empleándose en el futuro. Pero podemos considerar

una, así denominada, muestra estadística de lanzamientos con el dado, y derivar la proporción de 6 en todos los resultados a partir de la proporción de 6 en la muestra.

Esta concepción de las probabilidades se denomina actualmente «frecuentismo finitista» (Hájek, 1997). El calificativo de «finitista» tiene ahí por objeto dejar claro que ese frecuentismo solo se refiere a totalidades finitas, puesto que solo en ellas se pueden definir fracciones. Si uno quiere considerar también totalidades infinitas, entonces tiene que adaptar un poco el frecuentismo (Hájek, 2009).

El frecuentismo finitista reduce las probabilidades a frecuencias relativas, de cuya existencia cualquiera está convencido. En este sentido, de entrada no parece problemático. ¿Pero son las probabilidades de verdad simples frecuencias relativas? Si se quiere relacionar las probabilidades con el azar, entonces la respuesta a esa pregunta será negativa, puesto que las frecuencias relativas no tienen mucho que ver con el azar. Y hay muchas otras razones para rechazar el frecuentismo finitista (Hájek, 1997).

Una razón discutida con especial frecuencia es la siguiente: Las frecuencias relativas solo pueden definirse con referencia a una totalidad de casos. En nuestro ejemplo era la totalidad de todos los lanzamientos con un cierto dado. De ahí que las probabilidades que uno interpreta, en el sentido del frecuentismo, como frecuencias relativas, se entiendan mejor como probabilidades condicionadas, por ejemplo la probabilidad de que un lanzamiento dé 6, suponiendo que nuestro dado fue lanzado. De forma análoga, se puede partir de otras totalidades, y constituir otras probabilidades condicionadas, por ejemplo la probabilidad de que se obtenga 6 suponiendo que yo lance nuestro dado; la probabilidad de que resulte un 6 si alguien arroja el dado en un domingo etc. En cada caso se asume una totalidad diferente, cada una de las cuales abarca una clase de lanzamientos. Cada lanzamiento concreto puede de este modo ser asignado a distintas clases o totalidades: Si yo arrojo el dado ahora, entonces se trata de un lanzamiento hecho por mí, pero también de un lanzamiento

efectuado en martes, y un lanzamiento efectuado en Europa. De tal modo que con ese lanzamiento se pueden se pueden relacionar diversas probabilidades condicionadas, por ejemplo la probabilidad de que el resultado de un lanzamiento sea 6 en el supuesto de que el dado fue arrojado por mí; la probabilidad de que el resultado de un lanzamiento sea 6 en el supuesto de que el dado fue arrojado en martes, etc. En la interpretación frecuentista, los valores numéricos de esas probabilidades se diferencian en la mayor parte de los casos. Pero nosotros a veces también partimos de la existencia de probabilidades incondicionadas, relativas a un único evento. Supongamos que yo quiero lanzar ahora el dado. ¿Cuál es la posibilidad de que salga el 6? Cuando uno plantea esta pregunta está preguntando por la probabilidad incondicionada, que se refiere a un único caso. El frecuentismo no puede responder a dicha pregunta, porque solo conoce probabilidades condicionadas, relativas a determinadas totalidades.

Los frecuentistas responden a menudo a esa objeción que, al fin y al cabo, no existen probabilidades relacionadas con un caso particular. Las probabilidades aparecen en primer lugar en conjuntos o totalidades mayores (von Mises, 1928: primera conferencia). Como alternativa, los frecuentistas pueden intentar modificar su enfoque de tal modo que sí que permita las probabilidades asociadas a un caso particular. Tales probabilidades se obtienen, por ejemplo, en el marco del llamado «enfoque humeano», que fue desarrollado por David Lewis, y que se encuentra ligado al mismo espíritu que se expresa también en el frecuentismo. Vamos a ocuparnos ahora de ese enfoque.

4. **LAS PROBABILIDADES COMO ASPECTOS DE UNA REPRESENTA-CIÓN ÓPTIMA DE MUNDO**

Para Lewis el mundo está constituido en última instancia por objetos individuales localizados en el espacio y en el tiempo (Lewis, 1986; Lewis, 1994). Estos tienen propiedades y se encuentran unos con otros relacionados espaciotemporalmente. Hay además cambios: Un electrón se mueve y choca con un positrón, y ello genera dos fotones. Lewis compara la historia

total del mundo con un mosaico, que resulta de la totalidad de las múltiples piezas pequeñas. Ese mosaico espaciotemporal que constituye la historia del mundo no contiene de entrada probabilidades.

Ahora bien, en el mosaico se encuentran pautas regulares. Cuando un electrón y un positrón colisionan, ocurren determinados resultados típicos, por ejemplo la emisión de dos fotones. Cuando, bajo determinadas circunstancias, siempre se da el mismo resultado, nos hallamos ante una estricta regularidad. Esta puede ser puede ser formulada por medio de una proposición general. Una proposición así podría tener la forma siguiente: Siempre que un electrón y un positrón colisionen, entonces... También la mayor parte de las leyes de la naturaleza se dejan formular entonces como proposiciones generales que describen una regularidad estricta. Esto es válido en especial para las leyes de la física, que especifican la ligadura entre los valores de las magnitudes físicas y sus cambios. Muchas de ellas pueden emplearse para predecir, sobre la base de ciertas informaciones, qué valores adoptarán determinadas magnitudes físicas en el futuro.

Por tanto, las leyes de la naturaleza pueden describir bien determinadas regularidades en el mosaico. Contienen mucha información, pero sin embargo son realmente sencillas. Lewis propone entonces, definir precisamente por medio de estos rasgos las leyes de la naturaleza. Dicho de manera más precisa, él considera que una ley natural es una proposición general que se sigue de una representación óptima o, como dice Lewis, de un *sistema óptimo del mundo*. Un sistema óptimo del mundo es un sistema de proposiciones verdaderas máximamente informativo sin ser por ello demasiado complicado. Constituye, por así decirlo, una ideal guía de viaje por el mundo: Nos ofrece un balance óptimo entre contenido informativo y sencillez (Lewis, 1973: 72-77).

Sin embargo, en el mosaico de la historia del mundo hay también pautas que no se dejan expresar por medio de leyes de la naturaleza de estricta validez general. Si dos partículas colisionan, unas veces podría obtenerse un resultado y otras

veces otro. Lewis (1994) piensa que necesitamos las probabilidades para asir esas regularidades imperfectas. Y de ahí que permita que en las representaciones del mundo también aparezcan atribuciones de probabilidad. Estas enuncian que, bajo determinadas circunstancias, existe siempre una probabilidad incondicionada de que se dé un determinado resultado. Cuando uno refiere una de tales atribuciones generales de probabilidad a un caso particular en el que se den las circunstancias requeridas obtiene entonces una probabilidad incondicionada para un caso particular. Las probabilidades que aparecen en tales atribuciones son de entrada únicamente meras probabilidades matemáticas. Sus valores no tienen aún ningún significado, por lo que se refiere a la tangible realidad espaciotemporal. Lewis obtiene probabilidades que sí poseen un significado tal preguntando por la representación óptima del mundo que admita también probabilidades. Esta debe ser de nuevo tan informativa como sea posible, y sencilla. El criterio de la sencillez ha de aplicarse aquí en especial a las atribuciones de probabilidad. Pero Lewis no puede exigir en este punto que las atribuciones de probabilidad sean también informativas. Pues, hasta el momento, la naturaleza de estas es puramente matemática. Por ello, Lewis enuncia un criterio adicional que afecta específicamente a las atribuciones de probabilidad. Este criterio exige que las probabilidades se adapten tan bien como sea posible al mosaico de la historia del mundo: Aquello que acontece en la historia universal debería poseer los más altos valores de probabilidad posibles. Supongamos que un dado es arrojado 100 veces y que se obtiene en 20 ocasiones el número 6. Si suponemos que el dado posee una probabilidad del 20% de caer con el número 6 en la cara superior, entonces la frecuencia observada del 6 es mucho más probable que si le atribuimos al dado un 10% de probabilidad de caer con el número 6 en la cara superior. Con otras palabras, de lo que se trata es de adaptar de manera óptima las probabilidades a las pautas del mosaico. Y al hacerlo también tenemos que tener en cuenta la sencillez. Por lo que resulta sin duda más sencillo, atribuir a todos los dados una probabilidad de 1/6 de caer con el número

6 en la cara superior, que darle a cada dado una probabilidad propia, en función de la frecuencia con la que el dado cayó realmente con el 6 en la parte superior. Y, aparte de eso, solo se atribuirán probabilidades a aquellos acontecimientos que no puedan derivarse de regularidades estrictas. Pues, si este último es el caso, entonces una atribución adicional de probabilidad es algo redundante; complica una representación de la historia del mundo sin hacerla verdaderamente más informativa.

La mejor representación del mosaico debería entonces proporcionar un balance óptimo entre contenido informacional, sencillez y ajuste probabilístico5. Si existe una descripción del mundo que sea óptima en total, entonces son las probabilidades que ella atribuye a los acontecimientos del mundo las probabilidades auténticas, ónticas. Dicho a *grosso modo*, podríamos resumir así la idea de Lewis: Un acontecimiento posee la auténtica probabilidad de valor *p*, si una representación óptima del mosaico de la historia universal le atribuye a ese acontecimiento una probabilidad matemática de dicho valor. La atribución se produce por tanto a través del rodeo de las atribuciones generales de probabilidad que están incluidas en el mejor sistema y que poseen implicaciones para los casos particulares. Y para distinguir las probabilidades así definidas de otras, se las denomina usualmente «humeanas», porque Lewis se inspiró en ideas de Hume.

La interpretación humeana de las probabilidades ónticas se encuentra emparentada con el frecuentismo en tanto que reconduce las probabilidades hacia algo que existe con independencia de probabilidades. Fundamental para Lewis es solo el mosaico de cosas y eventos. Las probabilidades simplemente captan pautas en ese mosaico. Esto hacen también en el frecuentismo, en donde cuentan los eventos de determinados tipos. Lewis modifica el frecuentismo porque se abstiene del puro contar y permite que la detección del patrón también pueda ser guiada por consideraciones de simplicidad. De este modo, Lewis hace justicia al procedimiento que, de hecho, siguen las ciencias naturales. Ahí se ajustan con frecuencia distribuciones de probabilidad tan sencillas como sea

posible a los datos que se tienen del sistema. Y se intenta alcanzar un compromiso entre ajuste y sencillez, justo como exige Lewis de la mejor representación del mundo.

Sobre la base de las reflexiones de Lewis podemos ahora definir también un concepto de azar. Podemos decir que un acontecimiento es aleatorio cuando la mejor representación del mundo le atribuye un valor de probabilidad entre 0 y 1. Según esta definición lo casual es justo lo que posea una probabilidad óntica según Lewis distinta de 1 y de 0. Según esto, muchos acontecimientos no son casuales, porque no poseen ninguna probabilidad, por ejemplo porque su presencia se sigue a partir de proposiciones generales que se verifican estrictamente y sin excepciones, que pertenecen a la mejor representación del mundo, y que por tanto son considerados como leyes de la naturaleza. Y algunos acontecimientos no son cubiertos en modo alguno por la mejor explicación, porque de ellos apenas se puede decir algo sencillo. Pero la idea es que el mosaico contiene algunas pautas que, si bien no pueden reflejarse por medio de reglas sencillas válidas sin excepción, sí que pueden serlo por medio de probabilidades. Los acontecimientos en estas pautas son considerados como azarosos. Los resultados de las medidas de la física cuántica son ciertamente buenos candidatos para el azar en este sentido. Puesto que todos los intentos de derivar esos resultados de reglas de validez estricta a partir de las cuales se pudieran predecir con exactitud han fracasado. Y sin embargo encontramos en los resultados de las medidas ciertas pautas que se repiten. Siempre que realizamos por ejemplo una serie de medidas de un determinado tipo encontramos aproximadamente las mismas relaciones de frecuencia en los resultados. En la mejor representación del mundo debería haber probabilidades distintas de 0 y 1 que describen esas pautas, y en consecuencia tenemos que vérnoslas aquí probablemente con el azar.

Lewis refleja muy bien con su enfoque cómo se manejan en la física las probabilidades. Pero, no obstante, contra su enfoque se pueden plantear importantes objeciones. Una de ellas es la siguiente: Este enfoque define en última instancia las

probabilidades según la manera en la que las probabilidades se determinan en la física, pero también en otras ciencias: Ahí se ajustan distribuciones simples de probabilidad a los datos del mosaico. De ahí que en la definición de Lewis de las probabilidades aparece destacadamente el concepto de representación, y recurre a determinados ideales de la representación, tales como por ejemplo la sencillez. Ahora bien, ¿Hasta qué punto se trata aún, en el caso de las probabilidades así determinadas, de algo que verdaderamente está en el mundo? Nosotros pensamos la naturaleza como algo que conceptualmente es independiente del hombre, y si existen verdaderamente probabilidades en la naturaleza, entonces deberían poder caracterizarse con independencia de nosotros y de nuestras representaciones. ¿Acaso no nos ofrece al cabo Lewis simplemente una interpretación epistémica de las probabilidades? ¿Y no sería más satisfactorio si los procedimientos en la física y el éxito de los métodos correspondientes se pudieran aclarar por medio de propiedades del mundo que no estuvieran otra vez ligadas conceptualmente a nuestras representaciones y sus ideales? En justicia hay que mencionar que Lewis ha percibido este problema, y ha formulado una respuesta a la objeción (Lewis, 1994: 479). Pero queda la pregunta de si verdaderamente ha logrado remover la objeción.

Una segunda objeción es que las probabilidades de Lewis poseen demasiada poca capacidad explicativa con respecto a las pautas existentes de hecho en el mosaico. Lewis define las probabilidades sobre la base de las pautas en el mosaico de la historia universal. Y en consecuencia ya no puede explicar, con ayuda de las probabilidades, por qué se dan dichas pautas. Pues las probabilidades se siguen según Lewis de las pautas. Ahora bien, de las probabilidades lo que se exige a menudo es que expliquen determinadas pautas (Strevens, 2011: 344; 352). Si lo hacen, entonces deben hallarse en el fundamento de las pautas, producirlas, y por tanto poder existir con independencia de ellas. Pero según Lewis este no es el caso.

¿Pueden pensarse las probabilidades de tal modo que

expliquen por qué percibimos determinadas pautas en la historia universal? Los dos próximos apartados tratan de dos intentos de hacer esto.

5. LAS PROBABILIDADES COMO PROPENSIDADES

La interpretación de la propensidad es debida a Karl R. Popper. Según él mismo declaró (Popper, 1959: 25-27), este autor estaba inicialmente inclinado hacia la concepción frecuentista de las probabilidades, e intentó aplicarla a la teoría cuántica. Pero el famoso experimento de la doble rendija lo persuadió de abandonar el frequentismo. En este experimento, un ancho haz de objetos mecanocuánticos, por ejemplo electrones, es dirigido hacia una placa en la que hay dos rendijas. Si solamente una de ellas está abierta, entonces puede detectarse un cierto patrón detrás de la placa, que es como el que se esperaría para las partículas clásicas: los electrones se acumulan a lo largo del haz que conduce desde la fuente de electrones, a través de la rendija, hacia la parte opuesta. Pero si, por el contrario, las dos rendijas están abiertas, no se obtienen en ese caso simplemente dos haces del tipo descrito. Más bien parece que los haces interaccionan mutuamente, de manera que resulta un patrón de interferencia, como el que se espera de las ondas. Y un patrón de interferencia tal ya se produce si uno deja que un solo electrón atraviese las rendijas. Este es un indicio claro del carácter ondulatorio de los objetos cuánticos. En la mecánica cuántica se describe el carácter ondulatorio de un electrón adjudicándole una función de onda. A partir de ella se puede calcular la probabilidad de que se pueda detectar un electrón aquí o allá. Según Popper (1959) el experimento de la doble rendija muestra que las funciones de onda, y por tanto las probabilidades, poseen una realidad que es independiente de las frecuencias con las que se detecten electrones en determinados lugares. Estas probabilidades reales se referirían a eventos particulares. De manera que Popper renunció a su frecuentismo, y especialmente debido a que sus reflexiones sobre la física cuántica le condujeron además de este hacia otro problema adicional del frecuentismo6.

¿Pero qué son las probabilidades reales? Según Popper, se

trata de propensidades. Con esto quiere decir inclinaciones de los sistemas a mostrar un cierto comportamiento. En filosofía estas inclinaciones son llamadas usualmente «propiedades disposicionales». Un conocido ejemplo de una propiedad disposicional es la fragilidad de un vidrio. La disposición del vidrio a romperse se manifiesta con claridad bajo determinadas circunstancias, por ejemplo cuando dejamos caer el vidrio y entonces de hecho se rompe. Pero la disposición le corresponde al vidrio incluso cuando no se dan esas circunstancias. Entonces siempre podemos decir: Si se dejara caer el vidrio, se rompería. Al hacer esto estamos yendo más allá de lo que ocurre realmente, y consideramos lo que *podría* ocurrir. Cuando otorgamos a los objetos disposiciones lo que hacemos es, por tanto, que entren en juego las posibilidades.

Según Popper, las probabilidades son, pues, ciertas disposiciones que él llama propensidades. Estas no deben ser confundidas con frecuencias relativas, sino que más bien estas últimas han de explicarse en primer lugar por medio de ellas.

Si uno quiere considerar las probabilidades como propensidades se plantean entonces una serie de preguntas que han sido respondidas de formas muy diferentes (Gillies, 2000: cap. 6; Eagle, 2004). Una primera pregunta es a quién exactamente se le atribuyen las propensidades. ¿Quién es, por tanto, exactamente el portador de la disposición? Por medio del ejemplo del dado podemos darnos cuenta con claridad de que esta pregunta no es de ningún modo tan sencilla de responder. De entrada resulta tentador decir que la probabilidad de que un lanzamiento del dado nos proporcione como resultado 6 es, como propensidad, simplemente una propiedad del dado. No obstante, el resultado de un lanzamiento del dado también depende del modo que emplee el que arroje el dado. Si uno siempre pone el 6 arriba, y luego no sacude mucho el dado, entonces la probabilidad de que salga 6 podría aumentarse. ¿Deberíamos atribuir entonces más bien la disposición como propiedad al dado junto con una determinada persona? Pero esa persona puede también modificar su procedimiento con el dado, y, aparte, la probabilidad del 6 podría tal vez depender también

de otros factores, como por ejemplo del viento. Miller (1994: 185 ss.) llega hasta el punto de afirmar que los partidarios de la interpretación de la propensidad deben atribuir, en sentido estricto, las propensidades solamente a estados del mundo como totalidad.

Una segunda pregunta importante que hay que responder, si se quieren interpretar las probabilidades como propensidades, es la de qué es exactamente lo que cuenta como manifestación de la disposición. Para Popper una propensidad se manifiesta en un caso particular. La probabilidad de que en una medida mecanocuántica se mida una determinada dirección del *spin* del electrón es la tendencia a que el *spin* posea esa dirección al ser medido. Esa tendencia, o disposición, no es determinista, es decir, no se manifiesta siempre bajo las condiciones de la medida, pues a pesar de que exista una probabilidad alta de que el *spin* apunte hacia arriba, a veces ocurre también que en una medida el *spin* apunta hacia abajo. En el caso de las disposiciones deterministas esto es distinto; su manifestación está garantizada bajo las condiciones adecuadas. Uno puede entonces contemplar el valor numérico de una probabilidad como la fuerza de la tendencia indeterminista a que se dé una determinada dirección del *spin*. Cuanto mayor sea el valor de la probabilidad de que el *spin* apunte hacia arriba, más grande o más fuerte es la tendencia del sistema a producir el correspondiente resultado de la medida. Cuando hablamos de producción en este contexto, estamos empleando un concepto causal. De ahí que también se hayan relacionado las propensidades con la causalidad (Popper, 1990: 20-22).

Las propensidades de Popper contienen tal vez del modo más claro aquello que asociamos con el concepto de azar. Cuando nosotros denominamos azaroso a algo, con frecuencia queremos decir que se ha generado de un determinado modo: Se ha generado de un modo espontáneo, se ha generado por tanto en un proceso que, si bien condujo a un determinado resultado, también podría haber dado lugar a otro resultado diferente. Justo eso es lo que ocurre en el caso de las propensidades de Popper.

La interpretación de Popper de las probabilidades se distancia claramente de las frecuencias relativas que observamos para determinados tipos de resultados. Las probabilidades de Popper poseen por tanto el potencial para explicar esas frecuencias de un modo más clarificador que, por ejemplo, por medio del enfoque de Lewis. Si las propensidades se encuentran en estrecha relación con las causas, entonces no resulta sorprendente su poder explicativo, puesto que las buenas explicaciones identifican con frecuencia las causas.

¿Pero qué explican realmente las probabilidades consideradas como propensidades popperianas? Las propensidades se refieren siempre estrictamente a un caso particular. ¿Y qué se sigue de ahí para las frecuencias relativas, que se producen en la repetición de un experimento? Si llevamos a cabo varias mediciones del *spin* de los electrones, obtenemos la mayor parte de las veces parecidas frecuencias relativas de los resultados de las medidas. ¿Se puede explicar esto con probabilidades referidas al caso particular? A la explicación de las propensidades se le reprocha en este marco el que debilita en exceso la relación entre probabilidades y frecuencias relativas (Eagle, 2004: 401 ss.). Para refutar esta acusación hay que concebir las propensidades de tal modo que, por una parte, se refieran exclusivamente al caso particular, pero, por otra parte, induzcan ciertas frecuencias relativas en los experimentos repetidos. Entre las dos condiciones que deben así cumplir las propensidades existe al menos una cierta relación de tensión. Otro reproche que se hace a la interpretación de la propensidad es que no puede explicar por qué se aplican los axiomas del cálculo de probabilidades. Si las probabilidades finalmente miden las fuerzas de disposiciones que se manifiestan en el caso particular, ¿quién nos garantiza que esas fuerzas satisfacen las reglas del cálculo de probabilidades (Eagle, 2004: 384 ss.)? Finalmente, existe el peligro de la llamada «paradoja de Humphrey», si se asocian las probabilidades de un modo demasiado estrecho con la causalidad. El problema tiene que ver con el hecho de que la relación causa-efecto es asimétrica, es decir, si el evento *A* causa el evento *B*, entonces no ocurre que

también *B* cause *A*. Pero cuando calculamos con probabilidades entonces no siempre consideramos esta asimetría. También planteamos probabilidades que, bajo una interpretación causal, hacen aparecer a *A* como causa de *B*, y probabilidades que hacen aparecer a *B* como causa de *A*. Pero, debido a la asimetría, no es posible que *A* sea la causa de *B* y *B* sea la causa de *A*. Y de ahí que no todas las probabilidades que calculamos puedan contemplarse como especificación de una relación causal, o similar (Salmon, 1979; Humphreys, 1985; Suárez, 2013).

Algunos de los problemas pueden evitarse si uno concibe las propensidades de una forma algo distinta de como hacía Popper. Gillies (2000: cap. 7) por ejemplo propone no contemplar un único suceso como manifestación de la disposición. Una propensidad sería más bien la tendencia a generar determinadas frecuencias relativas en experimentos reiterados. Una probabilidad de que un dado caiga con el número 6 arriba, con un valor numérico del 20%, sería entonces la tendencia del dado a caer con el 6 arriba en aproximadamente el 20% de los casos en largas series. La correspondiente disposición sería a la postre determinista. Se tendría de nuevo una relación conceptual entre las probabilidades y las frecuencias relativas, sin que ambas se identificaran. No obstante, uno se pregunta si la interpretación de Gillies no se carga con los problemas del frecuentismo (Eagle, 2004). Un nuevo planteamiento, que desarrolla adicionalmente la teoría de Popper de la propensidad, se debe a Suárez (2013). Este critica la identificación que hace Popper de las probabilidades con propensidades. Suárez piensa que determinados sistemas muestran propensidades, pero no las identifica con probabilidades, sino que ve en ellas la base de estas últimas.

6. **LA INTERPRETACIÓN DEL MARGEN DE VARIACIÓN**

Las propensidades de Popper son indeterministas. Conducen a una imagen indeterminista del mundo, según la cual el futuro no se encuentra unívocamente determinado por las leyes de la naturaleza y el estado actual del mundo; podría desarrollarse de un modo o de otro7. Ahora bien, la física clásica, que fue

desarrollada en gran parte por Newton, excluye al menos en la opinión de muchos tal indeterminismo (Earman, 1986: cap. 3). Pero resulta que algunos sistemas a los que les atribuimos probabilidades se pueden describir muy bien con la física clásica. Así por ejemplo puede considerarse un dado como un cuerpo rígido que sigue las leyes de la mecánica clásica. Esta concepción tal vez no resulta siempre adecuada, pero en muchos casos funciona muy bien. Con esto se plantea la pregunta de si no habrá un concepto de probabilidad mediante el cual se puedan atribuir probabilidades a objetos puramente clásicos, que satisfagan las leyes deterministas de la física clásica.

Una interesante respuesta a esta pregunta la proporciona el enfoque denominado del «margen de variación», que recurre a ideas de Johannes von Kries (1886) y Henri Poincaré (1896) entre otros. En la actualidad es defendido por ejemplo por Michael Strevens (2003, 2011). Ha sido desarrollado por ejemplo para el lanzamiento de monedas. Y las monedas, como los dados, pueden ser consideradas, al menos en primera aproximación, como objetos clásicos.

El lanzamiento de una moneda puede conducir a dos resultados, en los que queda arriba o bien la cara o bien la cruz. Si uno modela la moneda como un cuerpo rígido (Keller, 1986; Diaconis et al., 1998), entonces el resultado depende univocamente de los valores de unas pocas magnitudes físicas que caracterizan el estado inicial de la moneda cuando se la deja caer. A estas magnitudes pertenece, entre otras, la velocidad con la que la moneda rota en torno a su eje. Las magnitudes físicas que determinan el estado inicial definen entonces un espacio, llamado «espacio de fases». Cada estado inicial cualquiera en el que pueda hallarse la moneda al soltarla se representa en él como un punto; a estados iniciales que son muy parecidos les corresponden puntos que se encuentran cerca.

Puesto que cada estado inicial conduce unívocamente a un determinado resultado, uno puede limitarse en el análisis del lanzamiento de la moneda al espacio de fases de las condiciones iniciales. En particular, se puede considerar aquella región de todos los estados en el espacio de fases que conducen al

resultado de que la cara quede en la parte superior.

Ahora bien, esta región posee dos propiedades importantes: La primera es que se encuentra compuesta de numerosísimas partes que atraviesan todo el espacio de fases. Ello es debido a que, con frecuencia, una pequeña variación de las condiciones iniciales cambia el resultado del lanzamiento de la moneda. Si lanzo la moneda de forma tan solo un poco diferente, obtengo un resultado diferente. Esto se refleja en el espacio de fases en el hecho de que por medio de pequeños cambios en las condiciones iniciales se abandona rápidamente la región de los estados que conducen a un resultado, para pasar a la región de los estados que producen el otro resultado.

En segundo lugar, se puede asignar un volumen, esto es, un tamaño, a la región de los estados que conducen al resultado «cara». Y lo mismo vale también para la región de los estados que conducen al resultado «cruz». Resulta que ambas regiones poseen el mismo tamaño: cada una de ellas abarca la mitad del espacio de fases. Como cada región no se encuentra sencillamente conectada, sino que sus partes se hallan distribuidas sobre todo el espacio de configuración, se verifica incluso esto: Si uno divide el espacio de configuración en muchas pequeñas cajas rectangulares, pero no demasiado pequeñas, entonces la parte del volumen de cada caja que ocupa la región que lleva al resultado «cara» es de 1/2. Y lo mismo vale para la región de estados que conducen al resultado «cruz».

Partiendo de esta base se puede explicar bien por qué el resultado de un único lanzamiento de la moneda apenas si resulta predecible, y parece por tanto aleatorio, mientras que si uno lanza la moneda repetidas veces siempre encuentra la misma frecuencia relativa para los resultados. El resultado del lanzamiento particular es apenas predecible porque deberíamos conocer con muchísima exactitud dónde se encuentra el estado inicial de la moneda en el espacio de fases. Pues ya un pequeño fallo en la determinación del estado inicial podría conducir a la predicción falsa del resultado. Por regla general no conocemos con tanta precisión dónde se encuentran las condiciones iniciales en el espacio de fases. Pero como el espacio de fases se

puede dividir en pequeñas cajas, la mitad de las cuales da lugar al resultado «cara», es razonable esperar que la cara de la moneda quede en la parte superior en el caso de aproximadamente la mitad de los lanzamientos (Rosenthal, 2012).

Esta explicación de cómo en el lanzamiento de monedas emergen, de una manera característica, frecuencias relativas estables a partir de resultados particulares impredecibles, se puede entonces relacionar con el concepto de probabilidad del modo siguiente: Se atribuye a un resultado *e* de un lanzamiento de la moneda una probabilidad de valor *p*, si el espacio de fases de las condiciones iniciales se puede dividir en pequeñas cajas de forma tal que la región que conduce al resultado *e* abarque una porción *p* de cada caja. Si definimos las probabilidades así, esto da lugar a la siguiente consecuencia: Siempre que hablamos de probabilidades nos referimos a un sistema que obedece a una dinámica compleja, que conduce a una cierta impredictibilidad, pero a frecuencias relativas estables. Con este concepto de probabilidad podemos por tanto aclarar por qué encontramos determinadas pautas en el mosaico.

Esta definición de probabilidades, que a veces es denominada «interpretación del margen de variación», puede generalizarse también a otros sistemas. No obstante, la definición da por supuesto que el sistema considerado se encuentra sometido a leyes y condiciones que dan lugar a un comportamiento en el tiempo cuyos resultados se derivan de regiones complicadas en el espacio de las condiciones iniciales. Pero ese supuesto no se ajusta a muchos sistemas. Si bien lo hace para las monedas, dados, ruedas de ruletas, y otros sistemas parecidos que se emplean en los juegos de azar. Tales sistemas generan, sobre la base de la física clásica, pautas de resultados que parecen casuales y que en el marco de una descripción óptima del mundo, al estilo de Lewis, posiblemente se describirían mediante probabilidades humeanas. De ahí que resulten adecuados para los juegos de azar.

La interpretación del margen de variación proporciona con ello un tipo de mecanismo que puede explicar pautas que

solemos describir como aleatorias. En consecuencia, cuando decimos que un resultado es azaroso, siempre que posea una probabilidad según la interpretación del margen de variación, llegamos a una noción de azar que incluye, no solo la presencia, sino también la génesis de ciertos patrones. Ahora bien, la interpretación del margen de variación no implica eventos causales en el sentido de eventos espontáneos y originados de manera indeterminista.

7. OBSERVACIONES FINALES

En resumidas cuentas, existen interpretaciones muy diferentes del concepto de probabilidad. Muchas de ellas conducen también a una determinada idea del azar. Si queremos comprender de modo más preciso qué es lo que un modelo o una teoría científica nos dice con sus probabilidades acerca del mundo, y en especial del azar posible, entonces debemos preguntarnos cuál de las interpretaciones de las probabilidades resulta la más adecuada.

¿Cómo decidiremos si una determinada interpretación de las probabilidades es adecuada? En primer lugar, cada interpretación debería ser compatible con aquello que pensamos de manera general sobre las probabilidades. En especial debería ser compatible con los axiomas del cálculo de probabilidades o, mejor aún, incluso explicar en cierta medida por qué se aplican las reglas de la teoría de la probabilidad. Como hemos visto, las probabilidades se pueden conectar en ciertas interpretaciones con ciertas ideas metafísicas, por ejemplo, con el indeterminismo o la idea de que existen disposiciones. Uno puede por tanto también intentar, por medio de argumentos metafísicos, remover determinadas interpretaciones de las probabilidades. Detrás de la interpretación humeana de las probabilidades de Lewis se encuentra por ejemplo claramente una metafísica que quiere prescindir de las disposiciones. Sin embargo, resulta algo insatisfactorio el partir simplemente de una determinada metafísica para interpretar las probabilidades. Una interpretación de las probabilidades debería más bien ajustarse además tanto como sea posible a los resultados concretos de las ciencias naturales que se expresan por medio de

probabilidades. De hecho, algunas de las interpretaciones que hemos considerado requieren unas fuertes condiciones previas, y uno tiene que pensarse en qué medida estas condiciones se cumplen en aplicaciones concretas. Así, por ejemplo, la interpretación del margen de variación solo puede aplicarse a sistemas cuya dinámica cumpla determinados requisitos.

¿Qué sería entonces una concepción plausible del azar y las probabilidades en la naturaleza? El mejor modo de hacer justicia a esta pregunta es por medio de un cierto pluralismo (Gillies, 2000: cap. 8): No todas las probabilidades que aparecen en las teorías físicas y los modelos, y no todas las aplicaciones del concepto de azar se dejan interpretar adecuadamente de una misma forma. Muchos modelos físicos que tratan de fenómenos macroscópicos se limitan a determinados aspectos de un sistema y abstraen numerosos detalles que se mostrarían en un plano microscópico. Pero, puesto que esos detalles microscópicos poseen una influencia sobre los aspectos tratados, se intenta integrarlos de una manera sumaria en la descripción. Y como la mayor parte de los detalles no se conocen, uno se sirve con frecuencia de probabilidades. Interpretar estas probabilidades simplemente como expresión de desconocimiento o de inseguridad es algo que viene de suyo. Esto favorece una interpretación en el sentido de las probabilidades epistémicas. El discurso del azar señala aquí en esencia nuestro desconocimiento. Tal vez pueden interpretarse también de manera humeana las probabilidades de muchos modelos físicos. Y en todo caso uno posiblemente evitaría una interpretación de propensidades, puesto que esta trae consigo el peligro de proyectar falsamente en la naturaleza nuestro propio desconocimiento.

Para los lanzamientos de dados y otros procesos similares contamos claramente con la interpretación del margen de variación. Y con ella se relaciona la idea de un determinado origen de los resultados que aparecen como aleatorios. Pero la interpretación del margen de variación resulta inaplicable para la física estadística, puesto que en ella se estudian también sistemas que no se comportan como monedas o dados. En la

denominada «física estadística clásica» se intentan derivar los fenómenos a explicar partiendo meramente de los aspectos clásicos, y no ya de los cuánticos, de las piezas materiales microscópicas. Ahora bien, en los postulados básicos de la física clásica no aparecen probabilidades. Esto alimenta la sospecha de que las probabilidades de la física clásica han de ser interpretadas epistémicamente. No obstante, en la física estadística se adoptan supuestos sobre una distribución de la probabilidad que en la práctica se han mostrado muy eficaces. Y de ahí que a veces se argumente que estas probabilidades hay que concebirlas como aspectos tangibles del mundo, y no como expresión de seguridad bajo condiciones de desconocimiento (Albert, 2000: 64 ss.). En consecuencia, actualmente se intenta a veces concebir esas probabilidades como probabilidades humeanas (Loewer, 2001; Frigg; Hoefer, en prensa). Esto significaría que uno tiene que vérselas aquí con patrones que aparecen como aleatorios y para los que no se tiene una explicación especial.

En el caso de la mecánica cuántica, la interpretación de Popper de las propensidades parece atractiva. Una consecuencia de dicha interpretación sería que en un plano fundamental de la naturaleza existiría verdadero azar, en el sentido de una espontánea realización de posibilidades. No obstante, con respecto a la mecánica cuántica resulta especialmente difícil encontrar una interpretación adecuada de las probabilidades. Pues, de manera general, la interpretación de la mecánica cuántica es algo controvertido, puesto que no está claro de qué objetos habla el formalismo de la mecánica cuántica. Diferentes interpretaciones o teorías, como las teoría de Ghirardi-Rimini-Weber, la mecánica de Bohm, o la teoría denominada «de los muchos mundos» (*many worlds*) interpretan de diferente modo las probabilidades (Ghirardi, 2011; Goldstein, 2013; Wallace, 2012). Además, para comprender mejor las singulares propiedades de los sistemas cuánticos se ha propuesto trabajar con un concepto de propio de probabilidad que no se corresponde exactamente con el definido aquí (Dickson, 2011). También es controvertida la importancia que puedan tener las

probabilidades mecanocuánticas en el plano macroscópico.

En general, algunas interpretaciones del concepto de probabilidad se ajustan muy bien a determinadas aplicaciones de las probabilidades en la física. Sin embargo, es preciso investigar más en muchos puntos. Por tanto, las probabilidades y el azar seguirán probablemente dando que pensar a la filosofía de la naturaleza.

---

1 Traducción de Francisco Soler Gil.

2 Agradezco a Martina Jakob sus valiosas observaciones sobre este capítulo.

3 Véase Hacking 1975 y Hacking 1990 para la historia del concepto de probabilidad

4 En relación con el concepto de interpretación véase Hájek, 2012: apartado 2.

5 Para los problemas de detalle con el ajuste probabilístico véase Elga, 2004.

6 Los detalles históricos en relación con Popper pueden leerse en Gillies, 2000: 114-118.

7 Con relación al determinismo, consúltese el capítulo de esta obra a cargo de Juan Arana.

VI. **Determinismo**[1]

Juan Arana
Universidad de Sevilla

Empecemos por el principio: ¿en qué consiste el determinismo? Reducido a su mínima expresión, diría que es una afirmación acerca de cómo está hecho el mundo y, en general, todo lo que hay. Podría expresarse así: la realidad *parece* múltiple y dispersa, pero en ella todo está firmemente entrelazado y es como si fuera una sustancia única. Si el determinismo acierta, las apariencias engañan; las cosas no son como *aparentan* ser. Parménides se esconde detrás de Heráclito, lo cual no supone una gran concesión, ya que los miembros de la escuela de Elea concedían que el mundo de la sensación se muestra cambiante y disperso, y precisamente por ello lo consideraban engañoso. Multiplicidad y cambio son los dos aspectos de la realidad que hay que contrarrestar y el determinismo consiste precisamente en una maniobra de retorno hacia la unidad: allí donde vemos dos cosas en realidad solo hay una, porque la segunda *está determinada* por la primera a ser como es.

1. **EL DETERMINISMO Y LAS RELACIONES DE DETERMINACIÓN**

Conviene aclarar que una cosa es el *determinismo* y otra las *relaciones de determinación*. La relación de determinación implica una subordinación o dependencia de lo determinado respecto a lo determinante. La dependencia puede ser *lógica*, como cuando se dice que el valor de la variable libre determina el valor de función, o bien *real*, como cuando el cliente anuncia al vendedor que la clase de vehículo que va a adquirir depende del precio y no de las ventajas que le explica con tanto entusiasmo.

Es evidente que sin las relaciones de determinación lógica la razón perdería su base de sustentación: cada afirmación quedaría suelta y solo se podría juzgar de su corrección separadamente, sin tener en cuenta ninguna otra verdad o falsedad. A su vez, sin relaciones de determinación real no

habría cosmos y tampoco mundo, porque todas las cosas se convertirían en entes aislados, y cada una de ellas estaría encerrada en una jaula solipsista. Por no haber, ni siquiera habría distinción entre substancias y accidentes, ya que estos dependen y de algún modo son determinados por aquellas. Todo se diluiría en eventos atómicos cada uno de los cuales constituiría su principio y su fin. Ocioso decir que ambos escenarios resultan inconcebibles. Para bien o para mal en la realidad se da como mínimo una conjunción de unidad y multiplicidad, y las relaciones de determinación tanto lógicas como reales forman parte del paisaje en el que nos movemos.

Dado que carece de sentido prescindir por completo de las relaciones de determinación, ¿hasta dónde llega exactamente su alcance? Aquí surge el *determinismo* como una respuesta radical: sostiene que no hay nada que escape a ellas. Si acertara, todo estaría sometido desde el principio hasta el fin al imperio de la determinación.

Hay que reconocer al determinismo el mérito de la *simplicidad*. Antes de averiguar si posee otras virtudes conviene matizar que, puesto que hay dos tipos fundamentales de relaciones de determinación, también habrá dos tipos básicos de determinismo: el lógico y el ontológico.

2. **EL DETERMINISMO LÓGICO**

El determinismo lógico se plasma en la tesis de que *no hay más que un único mundo posible*. Si fuera así, cualquier variación que introdujésemos en el mundo real supondría una contradicción: incluso desplazar una fracción de milímetro y adelantar o retrasar una décima de segundo el vuelo de una mosca concreta tendría consecuencias letales y arrojaría la totalidad del cosmos al abismo del absurdo. Toparíamos entonces con una versión logicista del conocido «efecto mariposa»: un batir de alas fuera del programa produciría, no ya catástrofes imprevistas en otros continentes, sino inconsistencias que no podrían ser controladas.

Resulta arriesgado conjeturar que nadie haya sostenido en serio esta forma extrema de determinismo. Algunos físicos especulativos contemporáneos, como Stephen Hawking, han

explorado la perspectiva de que no hubiera más que un solo entramado posible de leyes naturales. Si tal fuera el caso —perspectiva por otro lado demasiado remota— tendríamos un *determinismo genérico*, el cual todavía dejaría abiertas muchas posibilidades de desarrollos alternativos. Se atribuye al político Conde de Romanones la frase: «Ustedes hagan la ley, que yo haré el reglamento». Del mismo modo, si la legislación global del universo estuviera sometida a una necesidad lógica inconmovible, cuestiones teóricas relevantes como la del determinismo se desplazarían automáticamente a un nivel inferior, relativo a la fijación de las constantes y parámetros o las condiciones iniciales y de contorno. Por otro lado, una cosa es que las leyes queden determinadas lógicamente y otra que dichas leyes determinen unívocamente los acontecimientos que regulan. Podría darse el caso de un conjunto de leyes que fuera lógicamente necesario pero resultara insuficiente para determinar del todo los acontecimientos regulados por él. Esto me lleva a una primera constatación que debe ser tenida en cuenta: *solo el determinismo global y absoluto es digno del nombre «determinismo»*. Hablar de determinismo *parcial* es una trivialidad que carece de relevancia: toda ley, toda causa, toda explicación *determina parcialmente* la realidad. Establece restricciones, prohíbe ciertas alternativas, estrecha el ámbito de expectativas. En cierto modo, cualquier forma de conocimiento capaz de adelantarse a lo ya sabido es *determinante… en parte.* El determinismo pretende superar esa parcialidad, de manera que hablar de determinismo «parcial» es cometer una *contradictio in terminis*. El determinismo es *total* o no lo es. La única solución de compromiso que cabría encontrar en este punto de la discusión sería ceñir el *determinismo* a una zona o ámbito real, en el caso de que la realidad pudiera ser parcelada en regiones enteramente independientes. Esta perspectiva nos permitiría hablar de un determinismo *regional*, no *parcial*, pero tiene en contra el hecho de que en el mundo todo está interrelacionado incluso en el plano más básico: las fuerzas fundamentales se ejercen a través de campos energéticos que no es posible confinar. Bastaría con que una pequeña ruedecita en el

mecanismo cósmico estuviera suelta, para que su imprevisible comportamiento se contagiara poco a poco al resto.

3. **LOS LÍMITES INTRÍNSECOS DEL DETERMINISMO LÓGICO**

Antes de examinar el determinismo ontológico hay que añadir dos observaciones complementarias. El determinismo lógico afirma que todo lo existente está determinado a existir porque ninguna otra cosa puede existir. Lo cual equivale a sostener que hay un único modelo de realidad posible. En rigor metafísico, sin embargo, aunque se probara eso, todavía quedaría por sentar que ese hipotético modelo único de realidad posible existe no tanto *de facto* como *de iure*. La distinción es relevante porque, si estamos aquí para discutirlo es porque, al fin y al cabo, algo existe, o sea: nosotros. Pero aun dando por bueno que nuestra presencia evidencia la existencia efectiva de al menos un modelo de realidad, no ha quedado sentado que lo haga de un modo necesario. La lógica podría hipotéticamente demostrar que solo existe un solo mundo posible, pero no que dicha alternativa exista de hecho. En otras palabras, ni la lógica ni las matemáticas pueden explicarnos por qué existe el ser mejor que la nada, y por consiguiente el determinismo lógico no puede en modo alguno convertirse en determinismo ontológico.

Una segunda acotación es que hay una forma de determinismo lógico alternativa a la presentada. Acepta los que Leibniz llamaba *infinitos mundos posibles*. Pero, a diferencia de lo que sostenía el filósofo alemán, defiende que entre dichos posibles no hay relaciones de incompatibilidad mutua, sobre todo si no los ubicamos en el mismo ámbito espacio-temporal. Leibniz, en efecto, afirmaba que los diferentes mundos no son *composibles*, pero hay quien defiende una ampliación de la idea de composibilidad (gracias sobre todo la postulación de espacios y tiempos alternativos). Entonces podría darse el caso de que *existieran todos ellos.* Es lo que, por ejemplo, afirma el cosmólogo contemporáneo Max Tegmark:

> Si el universo es en sí matemático, entonces ¿por qué solo se escogió una estructura matemática entre muchas para describir un universo? Parece que una asimetría

> fundamental forma parte inseparable de las raíces mismas de la realidad. Para evitar esta aporía he sugerido que existe simetría matemática completa: que todas las estructuras matemáticas existen también físicamente (Tegmark, 2003:17).

Dejando a un lado lo inverosímil de la propuesta, cabe preguntar si constituye o no un ejemplo de determinismo lógico. Habría que discutir en primer lugar si *consistencia matemática* tiene el mismo alcance o es más restringida que mera *consistencia lógica*. Supongamos que sea legítimo equipararlas. Por un lado, y como ocurría con el modelo de un solo universo consistente, seguiría siendo contingente frente a la alternativa de la pura y simple nada esa plenitud de infinitos universos posibles y, *eo ipso*, existentes. Por otro lado, la mera consideración de lo que podría denominarse *principio de plenitud ontológica* alteraría profundamente las coordenadas del debate sobre el determinismo. Se trataría de un determinismo *no discriminante*, cuyo sentido es demasiado arduo definir. Postulemos que dudo si cometer cierto delito o abstenerme de hacerlo. Para decidirme se ponen en juego todos los principios de determinación pertinentes, y como consecuencia de ellos tomo una resolución. Pero en el modelo de Tegmark eso no pasa, sino que —como en *Alicia en el país de las maravillas*— habría que decir: «todas los jugadores han ganado y todos recibirán su premio (o su castigo)». Si en este universo opto por la honradez, en otra parte del multiverso un clon perverso cometerá el desafuero. La pregunta relevante entonces sería: ¿Por qué me identifico yo con el gemelo honesto y no con el villano? Es obvio que Tegmark no tiene forma de responderla, y lo mismo cabe decir de cualquier forma de determinismo lógico.

4. **EL DETERMINISMO ONTOLÓGICO**

No parece, en definitiva, que el determinismo lógico prometa resultados interesantes para aquellos que intentan acreditar o rebatir el determinismo como una posición intelectual *seria.* A tal fin conviene estudiar el determinismo ontológico que, sin despreciar otros escenarios más exóticos, da prioridad al que se

despliega en el espacio-tiempo que todos conocemos. Intentemos en primer lugar establecer un marco general de comprensión. Se trata de superar el aislamiento de los entes, puesto que en sí mismos aparecen como contingentes y hay que buscar fuera de ellos las condiciones que convierten en necesario su ser y por ende el conocimiento de que son susceptibles. Dios no precisa ni admite principios extrínsecos de determinación, porque desde el punto de vista metafísico aparece como el ser necesario, el ser que posee como algo inmanente a sí mismo la razón suficiente de su propia existencia. Pero fuera de Él no hay cosa alguna que contenga principios internos de suficiencia ontológica. En todo el orbe cósmico los principios de determinación vienen en último término del exterior, aunque con frecuencia se dan procesos de interiorización. La inercia, por ejemplo, permite al móvil avanzar en ausencia de fuerzas aceleradoras, pero aún en ese caso no estamos hablando de una propiedad de cada cuerpo en particular que esté bajo su control. Por el contrario, es una propiedad común de todo lo que tenga masa. Aunque en un sentido es legítimo decir que su movimiento es espontáneo, la regulación de su espontaneidad no es *suya*. Hay autores, como Hobbes, para quienes cuando una cosa se determina en virtud de principios regulativos *interiorizados*, como las leyes de la naturaleza que inciden directamente en su comportamiento, lo hacen de un modo que al mismo tiempo es libre y determinado. Una piedra cae libremente siempre que no tenga adosado, por ejemplo, un cohete que la haga descender más deprisa de lo que marca la ley de Galileo. Pero la mayor parte de la gente piensa —desde mi punto de vista con acierto— que es indiferente que las leyes de la naturaleza actúen inmediatamente sobre un ente natural o lo hagan mediatamente a través de otros entes interpuestos. Tanto en un caso como en otro no son los entes involucrados los protagonistas de lo que les pasa, sino que están determinados por la legalidad física a evolucionar como lo hacen.

5. **DETERMINISMO Y CAUSALIDAD**

Las leyes naturales constituyen hoy en día los más conspicuos

principios de determinación real. Antaño se daba prioridad a la noción de causa. Mientras que la noción de ley natural es bastante nítida, la de causa es notoriamente ambigua. De la nitidez o ambigüedad de un concepto se puede juzgar particular o genéricamente. Podemos, por ejemplo discutir si Kant tiene o no una definición precisa de causa, o si Newton entiende siempre las leyes naturales de la misma manera. Pero cuando comparamos los diversos autores y épocas, llegamos a la conclusión de que casi todo el mundo ha usado el concepto de ley con una semántica *convergente*, mientras que el de causa no tanto. Hay un modo particularmente laxo de entender la noción de causa: consiste en hacerla equivalente a *cualquier principio de determinación*. Aunque esta definición es extraordinariamente amplia, resulta muy precisa. Abarca todos los mecanismos de configuración de la realidad, tanto físicos como metafísicos, materiales como ideales o espirituales, espacio-temporales o metaespacio-temporales, extrínsecos como intrínsecos. La controvertida noción de *causa sui* deja de ser problemática si se acepta este postulado, puesto que los inconvenientes de admitir que Dios sea causa de sí mismo, o que los seres libres sean ellos mismos principios últimos de determinación de sus decisiones, se diluyen hasta desaparecer cuando se practica total apertura semántica en el uso de lo causal. En tal caso ya no es posible extraer conclusiones panteístas o necesitaristas del principio de causalidad.

No pretendo en modo alguno ser original al defender la interpretación ultra-amplia de causa. Coincide más o menos con la propuesta que encontramos en la *Enciclopedia* de d'Alembert y Diderot, y con la forma en que emplean el vocablo los lenguajes naturales, al menos en la tradición occidental. Los filósofos y más recientemente los epistemólogos han propuesto versiones más restrictivas, muchas veces con el propósito, para mí incomprensible, de otorgarle mayor precisión. Y no lo comprendo porque la pretensión de fijar con exactitud fronteras es utópica y el o los conceptos de causa no ha(n) constituido una excepción. Un ejemplo muy aleccionador es el del filósofo de argentino Mario Bunge, autor de un libro en muchos aspectos

excelente sobre la causalidad, pero que logra la dudosa proeza de recortar la semántica de la causa hasta convertirla en un instrumento escasamente útil, y al mismo tiempo introduce semillas de vaguedad en lo que pretende ser una optimización de su opuesto. Me abstengo de entrar ahora en mayores detalles, ya que lo he hecho por extenso en otro lugar (Arana, 2012, § 33 ss.).

De los grandes filósofos, probablemente ha sido Aristóteles el que ha tenido mejor criterio y proporcionado una visión más pluridimensional de la causalidad. Su doctrina tetracausal no es una teoría, pues busca sus fuentes en los usos corrientes del lenguaje natural y todavía enriquece sus resonancias con el uso analógico de cada una de las cuatro causas. La ventaja que tiene sobre el criterio semántico que propuse un poco más arriba (causa como equivalente a principio determinante en general) es que el de Aristóteles es mucho menos abstracto y más fértil desde el punto de vista heurístico, pero también arrastra el inconveniente de los numerosos malentendidos que ha suscitado y todavía suscita. Existe la posibilidad de combinar ambos puntos de vista, aunque la filosofía neoaristotélica moderna y contemporánea ha preferido mayoritariamente ejercer otra opción: intenta, de acuerdo con el ejemplo de muchos modernos, *cerrar* en lugar de *abrir* la doctrina tetracausal, convirtiéndola en una teoría univocista, todo lo estricta y formalizable que se pueda desear. La lista de fracasos que se ha cosechado en seguimiento de este criterio es considerable. Fácilmente adivinarán que me inclino por la otra alternativa, esto es, reforzar el sentido analógico del principio causal, huir de los reduccionismos y profundizar para encontrar las raíces comunes que existen entre los diversos sentidos aristotélicos y no-aristotélicos de causa que prometan algún rendimiento teórico.

6. DETERMINISMO LEGAL Y DETERMINISMO CAUSAL

Debo, sin embargo reconducir este excurso por los predios de la causalidad hacia el asunto del determinismo. Dado que las categorías de determinación más comúnmente usadas son las de causa y ley, es natural suponer que habrá un determinismo

causal y un determinismo legal. Para llegar a ellos es preciso establecer primero el principio causal o el principio legal, para lo cual hay que universalizar la aplicación de cada uno de ellos, postulando que cualquier cosa que ocurra, no importa dónde o cuándo, es efecto de la correspondiente causa o causas en un supuesto, y caso particular de aplicación de la ley o leyes competentes en el segundo. En eso consistiría precisamente el determinismo: afirmar que *todo* lo que llegar a ser lo hace como consecuencia necesaria y previsible de las causas o bien de las leyes involucradas en su advenimiento al ser.

Antes de proseguir mi análisis quisiera exponer una advertencia suplementaria que muchas formas de determinismo no tienen en cuenta. A veces se enfoca el negocio de la determinación como si se tratara de rellenar un esquema cerrado previamente establecido. Eso es un error. Para hacerlo ver, permítanme recordar esa anécdota en que el jefe de laboratorio se dirige al dueño de la fábrica y le dice: «Señor director: ya hemos puesto en la fórmula el aromantizante, el blanqueador, el agente anticaries, el agente antisarro, el agente antimal-aliento y también las rayas rojas para hacer bonito. El problema es que ahora no nos cabe el dentífrico.» De modo análogo, muchos creen que en la naturaleza operan un número limitado de principios determinantes y que, sumada la acción combinada de todos ellos, «ya no hay espacio para más». «¿Cómo quiere usted meter la libertad — preguntan— una vez contabilizado lo que las ciencias dicen sobre la conducta humana? Lo sentimos mucho, pero ya no hay espacio para más cosas». La imagen recuerda un juego que antes solían practicar los niños en España: el grupo se ponía a bailar en torno a unas sillas cuyo número era igual al de danzantes menos uno. Cuando paraba la música, el que más tardaba en sentarse se quedaba sin silla y era eliminado. Parece que para muchos la libertad es la que «se queda sin silla» a la hora de determinar. Pero las cosas no tienen por qué ser así. Imaginemos que la realidad es un guiso preparado en una cazuela suficientemente grande. Todos remueven el perol antes o después y tienen oportunidad de echar un puñadito de esto o de lo otro. No hay límite prefijado

al número y cantidad de ingredientes. Entonces el problema no es «encontrar sitio» dentro de la cazuela, sino hacer que el sabor del plato resultante sea distinto. Las especias no requieren mucho lugar para que su pequeña aportación resulte decisiva. Apurando un poco y contando con un paladar sensible, se diría que todo lo que intervenga, cualquiera que sea su cantidad, sabor y tiempo en que fue añadido, influirá en el resultado final. No estamos trabajando con plantillas fijadas de antemano, sino con historias vivas que solo se cierran cuando ya han concluido.

7. **DETERMINISMO Y REDUCCIONISMO**

Sin embargo, no todos los determinismos se comportan igual en este sentido. El determinismo legal tiene visos de mayor concreción que el causal, gracias al ya mentado consenso teórico de los que recurren a él. La fauna legislativa es más homogénea y coordinada que la causal, y no hay que perder tanto tiempo aclarado cuál es el tipo de determinismo legal que proponemos, a diferencia de lo que ocurre cuando transitamos por las vías del otro determinismo. Las leyes de la naturaleza son las que todos conocemos: las de Kepler, la de Boyle-Mariotte, las de Mendel, etc. No obstante, la breve relación esbozada sugiere que también en este caso el determinismo tendría que vencer considerables obstáculos para triunfar. Cualquier práctico en derecho sabe que si la legislación aplicable a un caso abunda, tanto mayores serán las oportunidades de encontrar alguna escapatoria para su cliente. No son permisibles aquí juicios salomónicos, como por ejemplo, decretar que las leyes físicas rigen el comportamiento de los átomos; las químicas, el de las moléculas; las biológicas, el de los organismos y las psicológicas, el de las mentes. En la práctica todo está demasiado entremezclado, de manera que necesitaríamos nuevas leyes para dirimir los casos en que se da duplicidad o conflicto de competencias, y seguramente se iniciaría así un proceso de formulación de leyes de leyes de leyes, sin previsible final. Sabido es que según Aristóteles lo accidental, lo imprevisible, lo contingente, surge cuando se cruzan dos líneas causales independientes, como la que da lugar a que alguien pase por la calle en un momento dado y la que provoca que una teja se desprenda del tejado y caiga sobre él.

Con las leyes vuelve a repetirse la misma coyuntura, a no ser que se haya establecido una rígida jerarquía y subordinación entre ellas. En definitiva, para poder seguir siendo *deterministas*, tenemos que volvernos *reduccionistas* y afirmar que la química no es más que una física de lo enrevesado; la zoología, un tipo sofisticado de bioquímica; la psicología, físico-química del cerebro, y así sucesivamente.

El reduccionismo es como el buen samaritano para un determinismo empantanado por la magnitud de una tarea que lo sobrepasa. Viene en su auxilio alegando que no hay conflictos de competencia entre leyes de distinto nivel y alcance, porque las leyes de las ciencias más específicas no son más que contracciones sintéticas de otras más básicas, de la misma manera que inventamos el vocablo «ballena» para no tener que repetir «mamífero marino de gran tamaño que se alimenta de plancton y proyecta surtidores de agua por el lomo». Es evidente que una cierta dosis de reducción es indispensable para poder desenvolverse. Renunciar a ella sería verse en la situación de Funes el memorioso, personaje urdido por Borges para uno de sus cuentos, el cual consideraba una incoherencia llamar con el mismo nombre a un perro a las 4,23 visto de frente y a las 4,24 visto de costado. Funes se podía permitir una multiplicación léxica incontrolada porque poseía una memoria prodigiosa y todo el tiempo del mundo para divagar, pero el resto de las mortales hemos de resignarnos a una dotación modesta de nombres propios y debemos utilizar nombres comunes para todo lo demás. Así pues, por fuerza hemos de reducir, del mismo modo que por fuerza hemos de determinar. Eso no se discute. Lo controvertido es si hay que pasar de la *determinación* al *determinismo* y de la *reducción* al *reduccionismo*. Para legitimar estas extrapolaciones se alegan muchos argumentos que —valga la redundancia— pueden reducirse a uno sustantivo y otro historicista, pareja que en último término remite a una única consideración: el progreso del hombre y del conocimiento estaría presidido por un aumento progresivo tanto de la determinación como de la reducción, así que con un poco de optimismo cabría esperar que al término de esa evolución se

alcanzará la determinación y la reducción perfectas, esto es, las apoteosis del determinismo y del reduccionismo y, con ellas, el fin de la historia y la llegada de la plenitud de los tiempos. Solo entonces, en efecto, se lograría la previsibilidad total de los acontecimientos, el control de la naturaleza y del propio hombre, el conocimiento perfecto, etc. Todo esto, naturalmente, es una utopía, cuyos rasgos he acentuado con el avieso propósito de ridiculizarla un poco. Casi todas las utopías se parecen en que vistas desde lejos resultan muy atractivas y, aunque tal vez no lo sean tanto, su propia índole impide que puedan ser escrutadas de cerca. Por eso resulta oportuno que el camino que lleva a ellas sea largo. Lo importante es creer que al final uno llegará al país de Jauja, creencia avivada por el espejismo de que ya estamos un poco más cerca que nuestros padres, a pesar de que sigamos rodeados de penurias y tinieblas. Nada más aleccionador en este sentido que el marqués de Condorcet, escribiendo el *Esbozo de un cuadro histórico del progreso del espíritu humano* mientras se ocultaba en una boardilla de París, porque los agentes de ese mismo progreso le buscaban con afán para matarlo.

8. **LÍMITES DE LA UTOPÍA REDUCTO-DETERMINISTA**

La historia del reduccionismo y del determinismo se parecería a la historia de otras esperanzas milenarias, si no fuera porque su fe también es susceptible de discusión racional. Para apreciar las ventajas e inconvenientes de Jauja no hay otra alternativa que trasladarse allá y comprobar unas y otros en directo. Pero lo que el determinismo predica no es tan difícil de concebir. Uno de sus adherentes, Burris Frederik Skinner lo ha expresado con palmaria claridad:

> Lo que necesitamos es una tecnología de la conducta. Podríamos solucionar nuestros problemas con la rapidez suficiente si pudiéramos ajustar, por ejemplo, el crecimiento de la población mundial con la misma exactitud con que determinamos el curso de una aeronave; o si pudiéramos mejorar la agricultura y la industria con el mismo grado de seguridad con que aceleramos partículas

> de alta energía... (Skinner, 1973: 11).

Skinner debía sentirse muy confortado con la perspectiva de que algún día todas y cada una de nuestras decisiones serán pronosticadas con la misma certeza que la caída de una piedra. De hecho no se molestó cuando unos admiradores japoneses le regalaron una caja de Skinner de tamaño natural, inspirada en la que él ideó para observar a las ratas. Por lo visto pasó dentro de ella los momentos más felices de su vejez. Pero la mayor parte de los deterministas se sienten bastante desasosegados cuando se dan cuenta de que la cosificación universal que promueven tendría a la larga que volverse contra ellos mismos. Entre muchos ejemplos, rescato el de John Stuart Mill, porque habló de ello en su *Autobiografía*:

> Durante las últimas recaídas en mi desaliento, la doctrina de lo que se llama Necesidad filosófica pesaba sobre mi existencia como un íncubo, [así que] establecí en mi propio espíritu una distinción clara entre la doctrina de las circunstancias y el fatalismo, descartando a la vez la palabra perturbadora: «Necesidad» (Mill, 1948: 96-97).

Su solución nos hace admirar la fuerza de voluntad que poseía, pero se parece demasiado a la táctica con que calumniamos a las avestruces, si no es cierto que afrontan las amenazas escondiendo la cabeza en un agujero.

9. EL DETERMINISMO COMO ACICATE DEL PROGRESO COGNITIVO

Hay sin embargo una forma menos irracional y más pragmática de evitar las consecuencias indeseables del determinismo: consiste en convertir la idea en algo así como la zanahoria que se pone delante de una caballería para animarla a tirar del carro: no nos interesa que sea una zanahoria de verdad: basta con que lo parezca y ejerza la consecuente reacción en quien es sensible a su atractivo. De la misma manera, muchos han pensado que aunque las cosas no estén a fin de cuentas tan prefijadas como el determinismo propone, pensar que sí lo están

ayuda a que nos esforcemos en la búsqueda de nuevas determinaciones, con lo que la relación entre fines y medios se invertiría: el determinismo ya no sería el logro último al que tiende la búsqueda de las determinaciones, sino el medio que nos ayuda a mantener viva esa búsqueda. Si descargamos a esta consideración de las connotaciones de cinismo que maliciosamente le he añadido, son muchos los que han apelado a ella para defender la respetabilidad del determinismo. Lo documentaré con unas líneas del filósofo franco-chileno Miguel Espinoza:

> Por otra parte, está claro que es al determinismo al que incumbe probar el determinismo causal; a él le corresponde mostrar cómo ir más allá del aparente azar, mostrar las causas, reconducir lo accidental a las leyes, reducir lo arbitrario a la descripción, remontar la escala de la necesidad. Desde el punto de vista de la comprensión, el determinismo causal es el motor más importante de la investigación (Espinoza, 2006: 198).

Según el tenor del párrafo citado, las cigarras no-deterministas cantarían ociosas, mientras las hormigas deterministas trabajarían calladamente en beneficio de la humanidad, destilando sin descanso nuevas determinaciones en sus burbujeantes alambiques. La imagen tiene fuerza, aunque asomen por detrás ribetes de argumento *ad hominem*. Por desgracia, incluso como tal fracasa. Las cosas han sucedido de otra manera. La versión religiosa del determinismo es el *fatalismo*, cuyos más visibles frutos han sido la indiferencia y la pasividad. Se pretende que la versión secular, el determinismo, conduce precisamente a las consecuencias opuestas, pero la experiencia demuestra lo contrario. Reproduzco un texto mío tomado de otro escrito para puntualizar este extremo:

> La tesis del determinismo causal como motor de la investigación tiene a primera vista cierta plausibilidad. Pero históricamente es insostenible. ¿Quiénes han sido los grandes mantenedores del determinismo causal? Los

> estoicos, Hobbes, Spinoza, Kant, Schopenhauer… Ninguno de ellos tiene un puesto importante en la historia de la ciencia. ¿Quiénes son en cambio los grandes descubridores de leyes y principios explicativos? Descartes, Newton, Haller, Euler, Faraday, Maxwell… Ni uno solo de ellos se adhirió al determinismo; muy al contrario sostuvieron explícitamente que el principio causal tenía un ámbito de aplicabilidad restringido. La unión de ciencia y determinismo es un fenómeno episódico que se localiza en la segunda mitad del siglo XIX y entona su canto de cisne a principios del XX, de la mano de Planck y Einstein, precisamente los dos principales responsables (muy a su pesar) de su por ahora final abandono (Arana, 2012: § 142).

10. EL DETERMINISMO COMO POSICIÓN TEÓRICA AUTOCONTRADICTORIA

Los que más avanzaron en el camino de la determinación no eran deterministas. ¿Por qué? Los motivos debieron ser, como es natural, muy variados. Pero al menos se podría alegar en abstracto una razón estrictamente epistemológica. La determinación nos viene dada a través de un acto de conocimiento, de manera que si el conocimiento no tiene futuro, tampoco lo tiene la determinación progresiva de la realidad. Las condiciones de posibilidad del conocimiento son de dos clases: objetivas y subjetivas. Las objetivas tienen que ver con la inteligibilidad de lo conocido: ahí es donde se hacen fuertes los partidarios de determinismo. Sin embargo, presumir una inteligibilidad sin residuos, o sea, la total transparencia de lo real a la razón determinante, constituye un exceso, un derroche que bien puede tener efectos colaterales perversos. Se manifiestan en cuanto examinamos los presupuestos subjetivos: no hay conocimiento sin cognoscente, y el cognoscente está en una posición de prevalencia sobre lo conocido. Justo en virtud de esa circunstancia es legítimo decir que saber es poder y que el conocimiento de la realidad permite controlarla. Es algo que

hasta el ultradeterminista Skiner reconocía en el texto que cité antes. Ahora bien, si el propio cognoscente forma parte de la realidad a conocer, figura en esta acción como dominante y como dominado. Esto provoca paradojas de todo tipo, como las de autopredicción que analiza Karl Popper en su libro *El universo abierto* (Popper, 1986: 91 ss.). Las paradojas son sintomáticas de una contradicción interna: no se puede ser a la vez juez y parte, demandante y demandado, conocedor y conocido. Por consiguiente, el conocimiento completo de la realidad del universo *desde dentro del mismo universo*, que es lo que pretende el determinismo al menos como posibilidad, es autocontradictorio, *incluso como mera posibilidad.* Los grandes creadores de la filosofía y de la ciencia fueron obscura o lúcidamente conscientes de esta limitación, y por eso asumieron la incompletitud esencial del conocimiento humano y de cualquier otro que sea una mera extrapolación de este.

Se da aquí un contraste chocante. Los defensores del determinismo legal y causal suelen presentarse como valedores de una perspectiva ateológica, cuando no antiteológica. Sin embargo, el tipo de concepción que defienden adolece de *teomorfismo:* pretenden conocer como Dios conoce, o bien sostienen que si Dios existiera su conocimiento no sería diferente del que preconizan. En esto se parecen a los fatalistas religiosos, que espacio-temporalizan la omnisciencia divina, al sostener que Dios sabe hoy lo que sucederá mañana, o aquí lo que ocurre allí, sin respetar la correcta ubicación del Ser supremo, quien sin duda está más allá del espacio-tiempo. Por su parte, los que defienden el determinismo de las leyes naturales divinizan su propio modelo epistémico, lo cual se muestra en las cláusulas introductorias y los corolarios de la declaración canónica del determinismo formulada por Laplace en su conocida conjetura de un genio o demonio omnisciente: «Una inteligencia que conociera… si además tuviera… abrazaría… nada sería incierto para ella… El espíritu humano ofrece… un débil esbozo de esta inteligencia» (Laplace, 1814: 2-3). Bien se puede en este caso parafrasear Nietzsche a la contra y sostener que el fallo capital del determinismo es que

resulta *göttliches, allzu göttliches:* divino, demasiado divino.

Solo en la segunda mitad del siglo XIX y en la primera del XX sucumbieron los grandes científicos a una concepción tan discutible. Albert Einstein personifica en su vida y obra este conflicto íntimo, que él quiso resolver asumiendo un panteísmo spinoziano y desentendiéndose de lo más irrenunciable de la condición humana. Para ello practicó un desarraigo que hubiera sido inhumano de no haber generado —como lo hizo— tantas contradicciones personales y profesionales. Literalmente habría que decir que el conocimiento buscado por él no era de este mundo.

11. EL DETERMINISMO COMO IDEALIZACIÓN SIMPLIFICADORA DE LA REALIDAD

Lo precedente nos lleva al siguiente dilema: si el determinismo legal fuera cierto, el hombre de ninguna manera podría hacerse cargo de él, y si, por el contrario, el hombre puede elevarse hasta la altura de un conocimiento de la realidad de envergadura pareja al determinismo, solo puede conseguirlo negando o relativizando el determinismo legal.

La solución del dilema no es problemática. Pero antes de retomarla conviene recordar, aunque en este contexto resulte ocioso, que hasta ahora se han examinado tan solo cuestiones de principio. Los éxitos teórico-prácticos de la mentalidad determinista fueron espectaculares, pero muy limitados cronológica y temáticamente: más o menos desde mediados del siglo XVIII hasta mediados del XIX, y se movieron en el ámbito de la astrofísica planetaria y la mecánica de sólidos. Fuera de esos campos y tiempo la ciencia no ha ofrecido ni ofrece otra cosa que resultados aproximativos, lo cual se traduce en la presencia creciente de leyes estadísticas insolubles en el contexto de determinismo clásico, y también reglas cualitativas refractarias a una cuantificación exacta, como las que proporciona la topología, la teoría de catástrofes o la dinámica de sistemas complejos. De la mecánica cuántica no digo nada, puesto que ha sido tratada en varios capítulos de este mismo libro. Tan solo me voy a permitir una observación al respecto: tanto la termodinámica como la mecánica estadística se

formularon a partir de *simplificaciones* en una *idealización* mecánica clásica. Durante unas décadas decisivas se subrayó una y otra vez que dichas simplificaciones empobrecían el rango de exactitud de los pronósticos que en principio era dable esperar del modelo clásico subyacente, sin prestar apenas atención al hecho de que dicho modelo no dejaba de ser una idealización útil pero que hubiera sido completamente injustificado identificarla con la entraña genuina de la realidad. Suponían, por ejemplo, que un gas estaba formado por moléculas que a su vez serían esferas elásticas perfectas interactuando mecánicamente. Luego lamentaban no poder seguir la pista a cada una de esas pequeñas esferas por separado, lo que habría motivado la introducción de simplificaciones estadísticas. Hasta aquí todo era legítimo, pero a continuación sostenían que dichas simplificaciones introducían una distancia *entre la teoría y la realidad*, cuando lo cierto es que introducían más bien una distancia *entre la teoría y la idealización mecánico-clásica subyacente*, precisamente con vistas a acercarla de nuevo a la realidad de los hechos, cosa completamente inalcanzable para la idealización clásica. En buena lógica, lo más sospechoso de estar distanciado de la realidad era la idealización en cuestión, mientras que postulados estadísticos deberían haber sido reconocidos como hipótesis auxiliares correctoras de una idealización que por sí misma no se mantenía en pie. Hablando en plata, ni entonces ni ahora hay indicios para pensar que las moléculas de gas sean esferas perfectamente redondas y delimitadas, rebotando unas de otras como disciplinadas bolas de billar. Sin embargo, la nostalgia de la imposible verdad de un modelo que resultaba fácil de visualizar extravió la capacidad crítica de generaciones de científicos y epistemólogos, antes, durante y después de la revolución cuántica. Por fortuna también hubo espíritus suficientemente lúcidos para apartarse de este insensato dogma del realismo ingenuo. Exner y Hasenörl, representantes de la escuela vienesa de física, fueron casi los primeros en dar la voz de alarma, de la que se hizo eco entre otros el primer Schrödinger, quien curiosamente fue bastante más indeterminista antes de descubrir la mecánica

ondulatoria de que lo fue más tarde. A finales de la década de los diez y comienzos de los veinte, la moda del irracionalismo erosionó el determinismo clásico antes de que lo hicieran los defensores de la Interpretación de Copenhague. Y después de que esta triunfase, disidentes de la ortodoxia cuántica como el científico Alfred Landé o el filósofo Karl Popper, reafirmaron con contundentes razones la independencia de práctica y teoría de la investigación científica respecto al prejuicio determinista.

12. EL INDETERMINISMO NO ES UNA OPCIÓN. LEGITIMIDAD DEL DETERMINISMO METAFÍSICO

De lo dicho puede sacarse la impresión de que condeno el determinismo en todas sus formas. En realidad no lo hago ni creo que pueda hacerse. El indeterminismo no es una opción. Nadie puede ser absolutamente indeterminista. Lo propio de la realidad es determinarse o lo que es lo mismo, *terminarse*. Una realidad indeterminada es una realidad a medio acabar, y por tanto algo no real, sino meramente posible. La actualización de los posibles no es otra cosa que su determinación a existir, que es, *eo ipso*, determinación de todos y cada uno de los atributos que les competen en cuanto existente. Aquí hay que rescatar lo anteriormente dicho sobre el determinismo causal, la noción de causa y el alcance del principio causal. Tanto el determinismo causal como la afirmación de la validez universal del principio causal pueden ser verdaderos o falsos según la mayor o menor concreción que demos al concepto de causa. Si por ejemplo exigimos que la causa preceda al efecto (o sea, que esté al igual que el efecto inmersa en el tiempo), si postulamos que haya contacto espacial entre la causa y el efecto, si apellidamos la causa con cualquier adjetivo —como físico, químico, mecánico o simplemente natural—, entonces afirmo que ni el determinismo causal es verdadero ni tampoco es cierto que todo efecto proceda de una causa, siempre claro está que hayamos restringido el sentido de la palabra causa no importa en qué forma. Pero si se acepta la propuesta de definir «causa» como «cualquier principio de determinación», está claro que el principio de causalidad es aplicable sin excepción, ya que sin determinación no hay ser, y cuando las determinaciones de un

ser no vienen de fuera de él, entonces provienen de un principio inmanente, y en ese sentido también son causadas. Por idéntico motivo, se puede aceptar sin inconvenientes el determinismo causal entendido de esta manera, aunque se trata de un nuevo rostro del determinismo que deberíamos llamar «metafísico», para distinguirlo del natural, físico o cualquier otro todavía más más recortado. En abono de esta tesis hay que contabilizar que uno de los pocos determinismos serios y coherentes que conoce la historia del pensamiento es el de Leibniz, quien al mismo tiempo defendía a capa y espada la autonomía y libertad tanto de Dios como de las criaturas racionales. Pretender que todo está determinado y a la vez que los procesos más decisivos nacen de la autonomía inalienable de Dios o de las sustancias no es contradictorio si la fuente de toda la determinación no se ubica en algo espacio-temporal, como los cuerpos, sino en algo que trasciende y origina lo espacio-temporal, como son según Leibniz las sustancias simples o mónadas.

No es preciso, sin embargo, comprometerse con un sistema filosófico concreto como el de Leibniz para defender el determinismo y el principio de causalidad universal; tampoco hay que pensar que es una especie de doctrina *ad hoc* ideada con objeto de salvar ciertas tesis teológicas, como la libre creación del mundo por Dios, o humanistas, como la irreductibilidad de la mente autoconsciente a la materia. Es cierto que así queda perfectamente salvada la posibilidad de defender tales tesis. También admito que la filosofía de Leibniz es uno de los pocos ejemplos de metafísica que consigue ser algo más que una mera prolongación de la física, para convertirse en, forzando la etimología, una *proto-física*, una reflexión acerca de lo que está antes de la física, originándola. Pero tengo que insistir que aunque uno se mueva en unas coordenadas naturalistas y se cierre tanto a la perspectiva teológica como a la humanística, puede muy bien aceptar la conveniencia imperiosa de ampliar el marco de la causalidad y el determinismo para evitar las paradojas autorreferenciales a que antes aludí. Creo haber razonado ya esto, de modo que me voy a contentar con una ilustración. Stephen Hawking es un físico insigne y un

metafísico errático y superficial, aunque no carente de olfato. Se mueve dentro de un marco claramente naturalista, a pesar de sus equívocas alusiones a la divinidad, y corteja la eventualidad de una explicación inmanentista del surgimiento el universo. Los presupuestos adoptados le llevan a buscarlo en un cuadro totalmente unificado de la legalidad cósmica. No obstante hay un momento en que salta la chispa de la intuición metafísica, cuando tiene que preguntarse «¿quién sopló fuego en las ecuaciones?» Aquí nos encontramos en la misma encrucijada que Kant cuando comparaba la diferencia entre los táleros reales y los táleros posibles. No puede haber otra más que los primeros son y los segundos no. Del mismo modo, cualquier determinación que no se eleve al pináculo de la primera y a la vez última determinación y quiera sin embargo convertirse de algún modo en respuesta definitiva, pretende desempeñar un papel que le viene demasiado grande. El problema filosófico que hay detrás de la cuestión del determinismo es que se confunde lo relativo con lo absoluto. Cualquier determinismo que pretenda abarcar todo lo real y que al mismo tiempo se declare accesible a nuestro espíritu se queda en seguida demasiado pequeño. Lo hemos comprobado mil veces a lo largo de la historia. No sé cuántas veces más tendremos que comprobarlo (adviértase que no se trata de errores inocuos y sin coste) para aprender la lección de una vez por todas.

1 En este texto he utilizado materiales procedentes de Arana, 2015a.

VII. **Complejidad**[1]

MEINARD KUHLMANN
University of Pittsburgh/ Universität Bielefeld

1. **TEORÍAS DE LOS SISTEMAS COMPLEJOS COMO TEMA DE RE-FLEXIÓN FILOSÓFICA**

La reflexión filosófica en torno a la ciencia, y a la naturaleza descrita por ella, se ha dirigido durante mucho tiempo casi exclusivamente hacia leyes sencillas, así como hacia aplicaciones de las teorías consideradas en cada caso como fundamentales. Los ejemplos típicos (pongamos por caso: el movimiento de un único electrón en un campo magnético) mostraban cómo se aplican las leyes fundamentales de una teoría a sistemas sencillos. Ahora bien, ya en la propia física esos campos (mecánica clásica, electrodinámica, teoría de la relatividad y física cuántica) apenas si representan aquello con lo que se ocupan la mayoría de los físicos, por no hablar de la variedad de otras ciencias. Es cierto que los campos dominantes de hecho, los de la física estadística, y en especial la física de los cuerpos sólidos, cuyos sistemas constan de muchísimos componentes (o grados de libertad) que interactúan de complicadas maneras, se basan en las teorías fundamentales. Pero últimamente se ha ido viendo cada vez con mayor claridad que no es adecuado esperar que en el análisis de tales sistemas todo siga funcionando en principio igual que en los casos sencillos, salvo que más intrincadamente, de manera que fuera superfluo una reflexión teórica específica con esas teorías no fundamentales. En los últimos 40 años se han desarrollado distintas teorías independientes de los sistemas complejos, que se basan en métodos y teorías para el análisis de sistemas más grandes (y más *complejos*, en un sentido aún por aclarar). Estas nos presentan una clase propia de metodologías y estrategias de investigación, que no se dejan clasificar sin más en los esquemas habituales de la teoría de la ciencia. En particular no resulta claro cuál es la relación entre las teorías de los sistemas complejos y las teorías fundamentales que describen los

componentes de los sistemas complejos. Pero no son solo los aspectos metódicos los que convierten a la teoría de los sistemas grandes en un tema propio para la teoría de la ciencia. También desde la perspectiva de la filosofía de la naturaleza se tematiza la importancia de las teorías modernas de los sistemas complejos y sus nuevos tipos de propiedades.

A diferencia de la teoría de la relatividad y la física cuántica, la arriba mencionada física estadística, que proporciona contribuciones esenciales para el análisis de los sistemas complejos, ha sido hasta ahora relativamente poco investigada en filosofía. Un motivo podría ser que los problemas filosóficos de la teoría de la relatividad y de la teoría cuántica empalman de manera inmediata con líneas de discusión filosóficas. Piénsese sin ir más lejos en las teorías del espacio y del tiempo desde Aristóteles, así como también en el atomismo antiguo. En cambio, la mecánica estadística fue considerada durante mucho tiempo como filosóficamente menos fértil. Como veremos en este capítulo, semejante valoración depende mucho de la perspectiva. Y puede sostenerse el punto de vista de que la física estadística y otras teorías para el análisis de sistemas complejos para las cuestiones de la teoría de la ciencia y de la filosofía de la naturaleza no resultan menos interesantes que la teoría de la relatividad y la física cuántica.

Hasta el momento se ha estado hablando de un modo algo provisional de «grandes sistemas». Ahora hay que precisar los términos de «grande» y de «complejidad». El tamaño en sí no tiene por qué dar lugar a fenómenos interesantes. Una pieza de metal, y aún mucho más un planeta, son grandes sistemas, pero ello solo no basta para que sean pertinentes, en el sentido relevante aquí. Pues no se requiere más que la mecánica clásica para comprender y calcular muchas de sus propiedades mecánicas (por ejemplo, en el caso de los planetas, sus órbitas). Ahora bien, si se consideran las propiedades magnéticas de la pieza metálica, entonces no solamente desempeña un papel la suma de la acción aislada de cada uno de los componentes, sino que sus múltiples interacciones se convierten en un factor decisivo. Esto muestra que, incluso en un caso que parece

relativamente clásico, como es el del magnetismo, las teorías fundamentales ya no resultan suficientes en cierto sentido para ofrecer una explicación Si muchos componentes de un sistema interaccionan entre sí, puede resultar una dinámica del sistema impredecible de hecho, y con frecuencia sorprendente, que no alcanza a ser aclarada mediante el conocimiento de los componentes individuales. Si este es el caso, entonces se habla de *sistemas complejos*.

Teorías de sistemas complejos hay en diversas ciencias particulares, desde la física, y pasando por la biología, hasta las ciencias sociales y económicas. De ahí que muchas discusiones filosóficas sobre sistemas complejos se originen en contextos particulares, o tengan significado para tales contextos. Estas giran sobre todo en torno a reflexiones con respecto a la relación de los sistemas altamente estructurados, como por ejemplo los organismos vivos, la conciencia o la sociedad con respecto a sus componentes aparentes, como por ejemplo, moléculas, neuronas, individuos. Ahora bien, aparte de las cuestiones específicas de cada ámbito es de notar que tanto el instrumentario conceptual como los métodos matemáticos para el análisis de sistemas complejos resultan con frecuencia, y de manera sorprendente, aplicables universalmente. Un ejemplo son los conceptos y la teoría matemática de las transiciones de fase, que se originaron en la física y la química, pero pueden emplearse del mismo modo para el análisis de los mercados de finanzas, cuando se trata de describir la transición, desde un transcurso relativamente tranquilo del mercado, dominado por análisis de las empresas, a una fase caracterizada por las ventas precipitadas y las fuertes oscilaciones de los precios. (Mantegna; Stanley, 2000; Voit, 2001).

Las teorías de sistemas complejos parecen así constituir un nuevo tipo fundamental de ciencia, que es transversal a las viejas fronteras disciplinarias. En lo que sigue serán mencionados numerosos ejemplos de la aplicabilidad interobjetual e interdisciplinar de conceptos y procedimientos analíticos. Los ejemplos de sistemas complejos de distintos tipos que pueden ser descritos y comprendidos por medio de los

mismos conceptos y métodos van desde los ferroimanes, los montones de arena, las avalanchas, pasando por el cerebro y las sociedades humanas, hasta los mercados de finanzas y las estructuras en internet. Ecuaciones estructuralmente similares y procedimientos de solución análogos se adecúan a la descripción y el análisis de dinámicas que pueden llegar a coincidir hasta en los detalles numéricos, por ejemplo cuando se trata de los exponentes en las llamadas «leyes de escala». Algo más visualizable es la aparición de valores umbrales, que, cuando se alcanzan, dan lugar a un cambio radical del sistema total (por ejemplo, comienza a producirse una avalancha), que con frecuencia se produce exclusivamente debido a las interacciones internas entre los componentes.

En el caso de los sistemas sencillos, se puede calcular directamente la evolución temporal (por ejemplo el movimiento de un planeta). Por el contrario, en el caso de los sistemas complejos las ecuaciones se vuelven demasiado complicadas. Un método esencial de análisis consiste entonces, por ejemplo, en distinguir procesos concurrentes cuyas velocidades varían tanto que los sistemas de ecuaciones diferenciales que describen la dinámica del sistema global que se examina, por lo general, muy complicados, se pueden resolver de una manera elegante gradualmente. De esta manera, se pueden proporcionar finalmente soluciones aproximadas para nuevas magnitudes, que proporcionan una visión general del curso temporal de procesos que no se puede calcular por métodos convencionales.

Los sistemas complejos plantean cuestiones metodológicas que afectan a casi todas las áreas de la teoría de la ciencia. ¿Es necesario un nuevo concepto de explicación para entender las prestaciones de las teorías de sistemas complejos? ¿Qué papel metodológico desempeña la utilización de simulaciones de ordenador? ¿Existen diferencias entre las especialidades con respecto al papel de las teorías de sistemas complejos? ¿O han de ser clasificados los sistemas complejos por ejemplo en biología como conceptualmente iguales a los sistemas complejos de la física o la sociología? Además, se plantea la cuestión de si el estudio de los sistemas complejos conduce incluso a una

reorganización fundamental de las ciencias, por ejemplo, en el sentido de abandonar las divisiones materiales en favor de divisiones especificadas estructuralmente, de forma que una disciplina no se caracterice por su ámbito de aplicación, sino por sus métodos. Así argumenta por ejemplo Schmidt (2001).

Junto a estos aspectos metodológicos, también hay importantes cuestiones de filosofía de la naturaleza que se plantean a la vista de los sistemas complejos. ¿Qué relevancia posee la aparente autonomía del comportamiento de la escala macroscópica para la tesis de la reducibilidad ontológica de todos los macrofenómenos a los componentes microscópicos del sistema de que se trate, que serían finalmente determinados por la física fundamental? ¿Se muestra en los sistemas complejos un comportamiento emergente? ¿Qué importancia poseen los sistemas complejos para el debate del holismo? ¿Qué papel juegan las leyes generales de la naturaleza en las teorías de los sistemas complejos?

En lo que sigue se discutirán tanto las peculiaridades metodológicas de las teorías de los sistemas complejos (en los subapartados 2.2 y 2.3) como también su importancia para la filosofía de la naturaleza (en el apartado 3). Pero antes, la panorámica algo más detallada (en el subapartado 2.1) de algunas teorías de sistemas complejos en distintas ciencias particulares tiene que ofrecernos una base, así como importante material de contemplación, para las discusiones ulteriores. El objetivo aquí es proporcionar una imagen más concreta de los nuevos métodos para el tratamiento de los sistemas complejos.

2. TEORÍAS DE LOS SISTEMAS COMPLEJOS. DOS EJEMPLOS

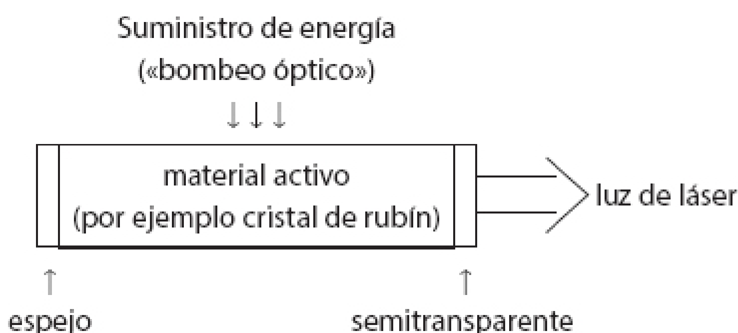
2.1. EL LÁSER

Un ejemplo especialmente llamativo, muy discutido y teóricamente muy sólido de una teoría de sistemas complejos, y específicamente de una teoría de la autoorganización, es la teoría del laser, desarrollada en detalle, entre otros, por Hermann Haken, y que posteriormente Haken generalizó con la llamada «sinergética», la «doctrina de la cooperación». La posibilidad, ya sugerida en trabajos de Einstein (1917), de la amplificación de luz por medio de emisión forzada (también

«inducida», o «estimulada») fue llevada a la práctica por primera vez en 1960 a través de la invención del laser (*light amplification by stimulated emission of radiation*). Se trata de una fuente de luz de notables propiedades, como por ejemplo la gran monocromaticidad («coherencia temporal»), el fuerte enfoque («coherencia espacial») y la alta intensidad de radiación, que resultan muy útiles para innumerables aplicaciones técnicas. Poco después de la invención del láser, Haken proporcionó, por medio de su explicación, una de las primeras teorías de lo que hoy se discute bajo el concepto de «sistemas complejos».

En condiciones de un bajo suministro de energía, el láser emite inicialmente luz habitual de bombilla, esto es, luz en la que se da una superposición de innumerables longitudes de onda. Pero, si el suministro de energía supera el llamado «umbral de láser», entonces comienzan todos los átomos/moléculas del láser a oscilar al unísono («en fase») y a emitir luz de una única longitud de onda («luz de láser» monocromática), que además posee una gran longitud de coherencia, es decir, muy largos trenes de ondas, en contraste con la luz de una lámpara, cuyos trenes de onda se interrumpen repetidas veces.

Estructura esquemática de un láser



El objetivo de la teoría del láser consiste en mostrar cómo el fenómeno del láser se origina a partir de la interacción entre los átomos fotoemisores. El objetivo general (como ocurre especialmente también en la física fundamental) es *el cálculo* de la evolución en el tiempo. En general, el desarrollo temporal de los estados de un sistema (la «dinámica») se describe por medio de ecuaciones diferenciales, es decir, ecuaciones que contienen

en cada caso tanto una función como sus derivadas. Por medio de una ecuación diferencial que relaciona la función de estado con sus derivadas temporales, queda fijado cada estado futuro del sistema, en tanto que se conozca el estado presente. Estas ecuaciones diferenciales (con frecuencia también sistemas de ecuaciones diferenciales, es decir, listas de ecuaciones que describen en conjunto la dinámica) son componentes esenciales de prácticamente todas las teorías físicas. Sin embargo, en el caso de los sistemas complejos las ecuaciones diferenciales básicas pueden ser máximamente complicadas, debido a su enorme número y su acoplamiento mutuo. El término «acoplamiento» quiere decir lo siguiente: Dos ecuaciones para la determinación de dos variables se dice que están mutuamente acopladas si en la ecuación correspondiente a una de las variables aparece la otra variable, que, por su parte, aún está igualmente por determinar. Por tanto, las ecuaciones acopladas no pueden ser resueltas con independencia la una de la otra. Si consideramos un láser, que posee átomos activos en un orden de magnitud de unos 1014 tenemos aproximadamente 1018 de tales ecuaciones acopladas. En la siguiente presentación verbal de lo que se trata es de dar una idea de qué procedimientos emplea la sinergética para resolver sistemas de ecuaciones diferenciales grandes y complicados. Además, se introducirán algunos conceptos y metáforas importantes:

Las ecuaciones fundamentales para el origen de la luz de láser abarcan tres grupos de ecuaciones diferenciales. Tomadas en conjunto, estas ecuaciones diferenciales determinan el campo eléctrico que describe el llamado «campo lumínico» del láser. En el caso normal, este campo es una superposición de muchos posibles estados de oscilación electromagnética («modos propios») de la cavidad (o «resonador»). Las amplitudes dependientes del tiempo $b\lambda$ de esos modos constituyen una medida de la intensidad de la excitación de los modos numerados por medio del índice λ. El primero de los tres grupos mencionados de ecuaciones diferenciales para la dinámica del láser son las ecuaciones de campo. Estas son las ecuaciones determinantes de la variación temporal de los modos de

amplitud, y describen en especial cómo generan el campo lumínico los átomos excitados en el láser. Entre otras cosas, esas ecuaciones captan la totalidad de las interacciones cruzadas entre los distintos átomos y los modos. Dicho con más precisión, ahí se indica cómo cambia la amplitud de los modos por la oscilación de los momentos dipolares asociados a los átomos αμ, donde el índice μ numera los átomos. Matemáticamente esto conduce a un acoplamiento del primer grupo de ecuaciones diferenciales con el segundo grupo, que determinan la dinámica de los momentos dipolares. Como información física de fondo sea mencionado que un dipolo es un par de cargas eléctricas opuestas que se encuentran muy cercanas la una a la otra. Un dipolo oscilante genera un campo de radiación. Y la luz ordinaria, las microondas y los rayos x no son otra cosa que tales oscilaciones electromagnéticas, que meramente se diferencian en la frecuencia de oscilación. El segundo de los tres grupos de ecuaciones diferenciales determina, por tanto, la evolución temporal de esos momentos dipolares atómicos. Donde influye en especial la manera en la que los modos de campo descritos en el primer grupo de ecuaciones actúen a su vez sobre los átomos (que han generado dichos modos). Esto conduce al siguiente acoplamiento de los tres grupos de ecuaciones. Y otro acoplamiento adicional surge con las terceras variables relevantes *d*μ, que describen la inversión atómica, es decir, la diferencia en los números de ocupación de los niveles de energía, en los que pueden encontrarse los átomos activos del láser.

El objetivo de la teoría del láser es ahora resolver el mencionado sistema de ecuaciones diferenciales, lo cual es imposible con los métodos de la física fundamental. El punto de partida esencial para la solución es la constatación empírica de que se da una jerarquía de velocidades en el proceso. Las escalas temporales características para los cambios de la amplitudes de campo *b*λ así como de las inversiones *d*μ son en concreto mucho mayores que las escalas correspondientes para los momentos dipolares *α*μ, es decir, tanto *b*μ como *d*μ cambian mucho más despacio que *α*μ. Para el tratamiento matemático de las

ecuaciones, esto tiene la consecuencia extremadamente importante de que algunas magnitudes lentas (los llamados «parámetros de orden») pueden ser considerados como constantes temporalmente en comparación con los los cambios mucho más rápidos de otras magnitudes.

En el lenguaje de la sinergética, un determinado b gana la competencia entre los parámetros de orden, (de forma que el índice λ se elimina) y marca la pauta. Con esto se constituye un único modo fundamental en el resonador (ruptura de la simetría), lo que conduce a una enorme reducción y simplificación de las ecuaciones diferenciales («caso de un único modo»). El siguiente paso consiste en la (siempre posible) integración formal de las ecuaciones diferenciales para los momentos dipolares atómicos αμ, que en sí misma sin embargo no nos lleva más allá, puesto que la presencia de las variables dμ (inversiones atómicas) y b (amplitud de los modos) impide una solución, ya que ambas magnitudes centrales tampoco se dan explícitamente, sino que solo quedan determinadas implícitamente por las ecuaciones diferenciales mencionadas arriba. El paso matemáticamente decisivo se sigue entonces de que, debido a la jerarquía de velocidades de los procesos que acabamos de explicar, los parámetros b y dμ, que son lentos y que por tanto cabe considerar como temporalmente constantes, pueden ser sacados del integrando, de forma que la integral que finalmente queda puede ser resuelta de manera elemental. Esta aproximación, denominada «adiabática» significa intuitivamente que los átomos siguen instantáneamente las indicaciones de los parámetros de orden. El resultado matemático de ese paso decisivo es que las variables αμ son eliminadas del sistema de ecuaciones diferenciales como variables independientes. Metafóricamente puede decirse que las variables αμ son «esclavizadas» por las dμ y b. El siguiente paso consisten en repetir el mismo procedimiento para dμ y b. El resultado final es una ecuación para una variable, a saber, b, que es finalmente el único parámetro de orden del sistema.

Subrayemos por último nuevamente que el punto esencial consiste en la «esclavización» de los parámetros (de orden)

rápidos por los lentos, lo cual es una consecuencia de la gran diferencia de las velocidades de los procesos. Estos parámetros son magnitudes especialmente importantes, que merecen una consideración específica, y cuyo número es muy inferior al de los grados atómicos de libertad iniciales. La estricta formulación de Haken del «principio de esclavización» dice entonces que «las magnitudes que cambian lentamente (por ejemplo los parámetros de orden que crecen despacio) [...] esclavizan a los movimientos que se relajan con rapidez». Esta conexión física se traduce matemáticamente en el hecho de que un enormemente grande y acoplado sistema de ecuaciones diferenciales, que no es simplificable con los métodos convencionales, se pueda resolver. En consecuencia, tanto las metáforas de la sinergética de Haken como en general la terminología de las teorías de la autoorganización se corresponden con procedimientos matemáticos tangibles, cuya justificación viene dada por las reflexiones físicas. La teoría del láser constituye un ejemplo de las teorías de autoorganización porque muestra cómo el estado estable del sistema total se alcanza mediante la sola interacción de los componentes (los átomos), es decir, sin constreñimiento externo.

2.2 **ROLLOS DE CONVECCIÓN**

Un ejemplo adicional de teoría de sistemas complejos proviene del campo de la termodinámica. La termodinámica se ocupa de sistemas complejos que contienen un gran número de componentes, como por ejemplo los gases o los líquidos. Para hacerlo, introduce nuevos conceptos, como los de temperatura y presión, de forma que los sistemas pueden ser de nuevo analizados como en la física fundamental, sin tener para ello que describir todos los componentes o los grados de libertad. Mientras que la termodinámica clásica ya fue cultivada intensamente durante el siglo XIX, la «termodinámica del no equilibrio» es relativamente joven. Excede los límites de la termodinámica clásica, que se ocupa principalmente de sistemas que ya han alcanzado el equilibrio termodinámico, y que por lo tanto están a nivel macroscópico en reposo. Un famoso y muy discutido ejemplo de esto es la aparición espontánea, analizada

por I. Prigogine (Nicolis; Prigogine, 1977) de los llamados «rollos de convección» al calentar un líquido por un lado, por ejemplo desde abajo, como en el caso de una cacerola. Este es un movimiento de rodadura macroscópico con rollos alargados, o también con la formación de un patrón hexagonal, que aparece repentina e inesperadamente al superarse un valor crítico del parámetro de control, a saber, la diferencia de temperatura con respecto a la superficie. En cambio, para pequeñas diferencias de temperatura, solo tiene lugar una transferencia de calor por conducción, sin efectos macroscópicos, y en la que el líquido se mantiene en calma.

En la propuesta sugerida para la explicación del origen de los rollos de convección encontramos también una magnitud interesante (en este caso la diferencia de temperatura), que al alcanzar un determinado valor («valor crítico») provoca algo. En el caso de los rollos de convección tiene lugar una ruptura espacial de simetría, puesto que solo se realiza una de las dos posibles direcciones de giro. La «decisión» entre rollos que giren hacia la izquierda o hacia la derecha depende de fluctuaciones en las condiciones iniciales, de forma que no es posible efectuar una predicción. Pero el hecho de que se produzca un patrón de rollos de convección es independiente de las condiciones iniciales. De ahí que, para la explicación de la formación de los rollos de convección no sean relevantes los detalles del comportamiento de las moléculas particulares; lo que importan son simplemente valores promediados entre todos los componentes, y por ello macroscópicos, como la temperatura.

3. **PROPIEDADES GENERALES DE LOS SISTEMAS COMPLEJOS**

Un paso esencial y de ninguna manera trivial del análisis de las teorías de los sistemas complejos en la filosofía de la ciencia consiste en la búsqueda de elementos comunes en la variedad de los nuevos métodos. Los sistemas complejos son por regla general sistemas con un gran número de componentes, o de grados de libertad de movimiento. Esta determinación es la base, pero no afecta a los rasgos que convierten a los sistemas complejos en algo tan interesante, lo mismo para los aficionados

que para los científicos y los teóricos de la ciencia. Posiblemente, la característica más importante de los sistemas complejos consista en que pueden presentarse inesperados estados intermedios o finales. Dicho de modo más preciso, la dinámica puede mostrar un curso inesperado, sin que lo inesperado haya sido generado exógenamente, es decir, desde fuera. La cooperación e interacción a nivel local de los muchos componentes del sistema puede conducir de manera compleja a que se establezca entre los componentes una consonancia que parece como si hubiera sido generada por medio de un mandato exterior. Esta posibilidad de la aparición de inesperadas propiedades (macroscópicas) al nivel del sistema es el rasgo de los sistemas complejos que en filosofía se discute especialmente bajo el rótulo de «emergencia».

Otra característica de los sistemas complejos, relacionada con esa, es que, al contrario de lo que ocurre con los sistemas clásicos de la mecánica, resulta especialmente interesante investigar qué consecuencias se siguen, para el resultado final, de los cambios en las condiciones iniciales, o las perturbaciones en el desarrollo del proceso. Una posibilidad es que los posibles estados finales de un sistema complejo de forma inesperada no resulten influidos en modo alguno por un cambio en las condiciones iniciales o por perturbaciones en el desarrollo (siempre que estas no sean demasiado grandes), de forma que el sistema tienda «inquebrantablemente» hacia esos estados finales (por ejemplo: los rollos de convección). En tal caso, los detalles a escala microscópica resultan, dentro de cierto marco, por completo irrelevantes, a pesar de que sean los componentes del sistema los que generen por medio de sus interacciones los inesperados resultados macroscópicos. Una posibilidad diametralmente opuesta a esta primera consiste en que el estado final reaccione de una forma altamente sensible a cambios en las condiciones iniciales. Este es el caso especialmente cuando se trata de sistemas caóticos. Desde un punto de vista filosófico, este segundo tipo de relación entre las condiciones iniciales y el estado final resulta en primera línea relevante para las discusiones acerca de hasta qué punto el determinismo

dominante en la era moderna se encuentra aún justificado, a la vista de los resultados de las modernas ciencias naturales.

En este punto debe mencionarse aún que la aparición de dinámicas complejas no se encuentra necesariamente ligada con la existencia de un gran número de componentes. También algo estructuralmente tan simple como un péndulo doble muestra un comportamiento caótico. Este ejemplo pone de manifiesto que finalmente es la complejidad de la dinámica la que hace que los sistemas complejos sean interesantes, y no la mera complejidad que resulta del tamaño de la estructura. En este sentido, podríamos llegar tan lejos como para decir que son los métodos especiales de análisis los que caracterizan a las teorías de los sistemas complejos, y que las propiedades interesantes de los sistemas complejos dependen justo de que puedan aplicarse tales métodos.

En el caso de los sistemas dinámicos lineales, las causas y los efectos se mantienen en una relación constante. Por ejemplo, en el caso del oscilador armónico, conforme a la ley lineal $F = -\mathrm{k}x$ la fuerza de recuperación F depende linealmente de la separación x que la provoca, siendo k una constante de proporcionalidad que depende de la materialización concreta del oscilador. Las causas pequeñas dan lugar a efectos pequeños y las causas grandes dan lugar a efectos grandes. Un ejemplo lo vemos en el oscilador armónico realizado en un péndulo de muelle, puesto que las oscilaciones (los efectos) dependen linealmente de los estiramientos (las causas), mientras que estos no sean demasiado grandes. En cambio, en el caso de los sistemas no lineares y debido a la interacción no lineal entre sus componentes, también pequeñas causas producen grandes efectos. El más conocido ejemplo es el denominado «efecto mariposa» (véase el recuadro informativo sobre los diagramas del espacio de fases). Un ejemplo muy sencillo de una ley de fuerza no lineal es la que describe el común péndulo de hilo, no restringido a pequeños desplazamientos:

$$F = -\mathrm{k} \sin \varphi,$$

que por medio de la aproximación $\mathit{sin}\ \varphi \approx \varphi$, es decir, considerando solo el primer término de la serie de Taylor, se

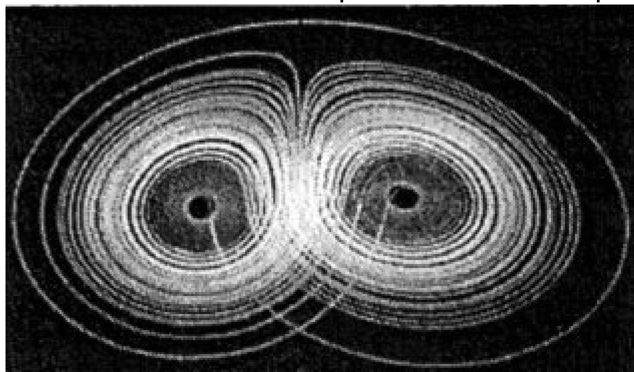
transforma en el caso lineal, o armónico. Hay que tener en cuenta que, en sí, la no linearidad aún no implica una dinámica compleja. Las ecuaciones no lineares de la dinámica se vuelven principalmente interesantes cuando son generadas por acoplamiento, como por ejemplo en el péndulo doble, en el que el extremo de un péndulo es el punto de suspensión de un segundo péndulo. En estos casos, que resultan típicos de los sistemas complejos, la no linearidad no viene producida por un potenciamiento de la variable considerada, sino porque esta queda multiplicada por otras variables adicionales a determinar.

Diagramas del espacio de fases

La diferencia entre los sistemas lineares y no lineares se reconoce con claridad cuando se considera su dinámica en el espacio de las fases. En él se le asigna a cada estado del sistema un punto, de manera que la evolución temporal de los estados del sistema en el espacio de las fases se representa por medio de una curva característica (o trayectoria). En el caso del péndulo simple, por ejemplo, el espacio de las fases se despliega a partir del ángulo de desviación y el impulso, y las trayectorias de los estados del sistema en ese espacio de las fases constituyen elipses. Mientras que los sistemas lineares dan lugar a curvas cerradas en el espacio de las fases, para los sistemas no lineares aparecen figuras completamente distintas. Por ejemplo, pueden las curvas converger en forma de espiral hacia un punto, denominado «punto fijo».

Los diagramas del espacio de fases constituyen un instrumento de ayuda especialmente útil para el análisis de los sistemas complejos, puesto que la interacción simultánea de muchos componentes se expresa en la no linearidad de la función de estado, y esta a su vez se ve con especial claridad en los diagramas del espacio de fases. En particular se deja analizar bien en el espacio de las fases el llamado «efecto mariposa», que se deriva de interacciones complejas. Se trata aquí de la posibilidad de que incluso las más pequeñas

variaciones de las condiciones iniciales (por ejemplo, un aleteo de mariposa adicional en Tokio) puedan dar lugar a un efecto completamente inesperado (por ejemplo, una tormenta en Bremen). El concepto de «efecto mariposa», acuñado en 1963 por el meteorólogo y fundador de las investigaciones sistemáticas del caos determinista Edward Lorenz puede explicarse teóricamente por medio de un «atractor extraño» en el espacio de las fases, que más adelante recibió el nombre de «atractor de Lorenz» (véase la imagen), el cual casualmente tiene también el aspecto de una mariposa.



Atractor de Lorenz (tomado de Korneck 2007)

Esta infinitamente larga trayectoria, que en el espacio tridimensional de las fases nunca se cruza consigo misma, es la solución de un sistema especialmente sencillo de tres ecuaciones diferenciales no lineales acopladas, que constituye un modelo muy simplificado de la evolución a largo plazo del tiempo (atmosférico). Con algo de práctica se puede reconocer, por medio del atractor de Lorenz, que ya cambios muy pequeños en las condiciones iniciales pueden dar lugar a una evolución del sistema completamente diferente.

4. CONCEPTOS Y ASPECTOS METÓDICOS EN EL ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS COMPLEJOS

A continuación vamos a presentar algunos ejemplos típicos de teorías generales de los sistemas complejos, o de métodos de aplicación universal para su análisis.

4.1. AUTOORGANIZACIÓN

Un punto de partida histórico para el surgimiento de la teoría moderna de la autoorganización es la pregunta de cómo pueden, sin intervención exterior, generarse estructuras que parecen contradecir a la segunda ley de la termodinámica. Esta dice que la entropía de un sistema cerrado aumenta continuamente. Por ejemplo, las moléculas de gas de un contenedor se distribuyen uniformemente, en lugar de acumularse espontáneamente en un rincón. Y un movimiento ordenado se transforma por rozamiento en un desordenado movimiento térmico del entorno. Puesto que un aumento de estructuración significa un aumento del orden (en contraste con una distribución uniforme, y en ese sentido más desordenada) y por tanto una disminución de la entropía, parece que una formación «espontánea» de estructuras está excluida físicamente. Y, en especial, trayendo a colación una vieja controversia, parece que el origen de la vida no es compatible con la física, o en especial con la termodinámica. Este estado de cosas constituye un trasfondo del muy discutido supuesto de que otros principios distintos de los físicos son responsables de que pueda surgir la vida. El argumento más importante contra este supuesto consiste en la indicación de que los organismos vivos no constituyen sistemas cerrados, y que por ello, considerados en sí mismos, no están sometidos a la segunda ley de la termodinámica, sino que solamente lo están al ser considerados junto con su entorno. En el balance global, la ley de aumento de entropía se cumple de nuevo. El intenso intercambio de energía de los organismos con su entorno quiere decir que no se encuentran en equilibrio en sentido físico (termodinámico). De ahí que su descripción requiera el uso de la termodinámica de los procesos lejos del equilibrio.

Desde aproximadamente mediados del siglo XX contamos con diversos ejemplos de teorías de autoorganización, y especialmente, junto con la sinergética (H. Haken) la termodinámica de procesos alejados del equilibrio (I. Prigogine), la teoría denominada del «hiperciclo» de la evolución molecular (M. Eigen), determinadas formas del desarrollo de sistemas en la cibernética (N. Wiener, H. v. Foerster) y la teoría de sistemas (N. Luhmann), así como la teoría de los sistemas

autorreferenciales, que son tratados bajo la clave de la «autopoiesis» (H. Maturana, F. Varela). Resulta apenas posible articular una ordenación de los enfoques mencionados, o distinguirlos claramente, ya que dichos enfoques a menudo dependen en gran medida de los individuos concretos o las escuelas y sus estructuras conceptuales e intereses temáticos.

Ya en el ejemplo discutido arriba del láser se introdujeron con los «parámetros de orden» y «de control» algunos conceptos importantes, que también desempeñan un papel en otras teorías de la autoorganización. El parámetro de control viene fijado desde el exterior, de manera que para él (y solo para él) tenemos una causalidad clásica. En los ferroimanes, pongamos por caso, el parámetro de control es la temperatura (que es regulada por ejemplo por el experimentador). Cuando el sistema, mediante un cambio en el parámetro de control, se vuelve inestable, el parámetro de control ordena, o «esclaviza» el comportamiento de los componentes del sistema («principio de esclavización»), pero resulta a su vez causado por los componentes. Por tanto, el efecto de los componentes generando un parámetro de orden actúa a su vez como determinante (causa) de dichos componentes. De ahí que puede hablarse de retroalimentación, pues los efectos se convierten en sus propias causas. Como ha quedado ya claro en los ejemplos típicos de los rollos de convección y la luz del láser, lo que hay detrás de estas conceptualizaciones son procedimientos matemáticos. Por eso, no debería partirse del supuesto (algo que, sin embargo, a veces se hace) de que los «principios» de la autoorganización son principios en un sentido metafísico.

4.2. **TEORÍA DEL CAOS**

Como ya se ha mencionado varias veces, un objetivo típico de la física es el cálculo del movimiento, o, más generalmente, el de la evolución temporal de los estados de los sistemas. Durante mucho tiempo la física ha estado determinada por ese ideal «astronómico». Con ayuda de leyes generales de la naturaleza debería calcularse y predecirse con la mayor precisión posible la trayectoria de los cuerpos. Este ideal ha podido realizarse muy bien en la teoría del sistema planetario. Pero el ideal presupone

una determinada estructura de las ecuaciones del movimiento que muchos sistemas físicos, como por ejemplo ya el péndulo doble, no poseen. Para tales sistemas se han desarrollado en cada caso nuevos métodos de análisis. Un ejemplo de esto es la teoría del caos, que no trata del caos como un objeto, sino que investiga sistemas que se encuentran en un estado especial de movimiento, que se denomina caótico. La evolución temporal de los sistemas caóticos viene caracterizada por sorprendentes «irregularidades» y por la imposibilidad de predicciones a largo plazo. Un rasgo importante es la delicada («sensible») dependencia de la evolución del movimiento con respecto a sus condiciones iniciales. En el caso de los sistemas caóticos las trayectorias, pese a la similitud inicial, evolucionan muy rápidamente de modo distinto, de modo similar a como lo hacen dos pelotas de pingpong situadas la una junto a la otra en un torrente. Aun cuando las ecuaciones del movimiento, y por tanto las leyes, que describen la evolución temporal del sistema, sean consideradas deterministas y exactamente ajustadas, es imposible realizar una predicción a largo plazo. Las condiciones iniciales no pueden ser nunca determinadas con exactitud absoluta, y los ordenadores introducen errores de redondeo. E incluso los más mínimos errores de este tipo bastan, debido a la sensible dependencia con respecto a las condiciones iniciales, para que en bien poco tiempo no se pueda indicar la evolución ulterior del movimiento del sistema. Por lo demás, aquí se manifiesta claramente que es razonable distinguir entre determinismo y predictibilidad. No obstante, con ello no ha concluido todavía el análisis matemático. Los nuevos métodos de investigación de comportamientos complejos se ocupan en especial de lo que puede lograrse al margen de la predicción exacta de las trayectorias.

Matemáticamente, la teoría del caos es parte de la teoría de ecuaciones diferenciales y de diferencia, y examina el comportamiento aperiódico inestable en sistemas dinámicos no lineales deterministas. Por tanto, la teoría del caos no marca límites de la caracterización matemática de la naturaleza, sino que más bien presupone la exacta descripción matemática del

estado de un sistema y una ecuación de movimiento. Ahora bien, en el caso de los sistemas caóticos, y debido a los términos no lineales en las ecuaciones, no es posible proporcionar la solución (es decir, el dato de como evoluciona la trayectoria de los cuerpos en el tiempo) de manera cerrada, o sea, como en la función sinusoidal de un péndulo de muelle. No obstante, por medio de especiales procedimientos matemáticos son posibles los enunciados cualitativos sobre el comportamiento a largo plazo, así como las investigaciones acerca de la estabilidad de los movimientos y los patrones universales en la transición entre el comportamiento regular y el caótico.

Por lo que se refiere a la metodología, se puede derivar la conclusión de que, incluso si el «paradigma astronómico» no resulta alcanzable, se puede no obstante lograr mucho en cuanto a la dinámica, como por ejemplo la descripción de los patrones típicos del proceso, la clasificación de comportamientos a largo plazo, la predicción de los puntos críticos etc. La física fundamental no es abolida (y constituye con frecuencia un presupuesto para la derivación de las ecuaciones), aunque no desempeña en la práctica ningún papel (o desempeña uno subordinado). Por eso puede defenderse la posición de que, si bien las teorías de los sistemas complejos son metodológicamente más adecuadas que las teorías fundamentales, puesto que dependen más del contexto, para la ontología no son necesariamente (más) relevantes, puesto que las teorías fundamentales no han perdido su validez. Batterman (2002) argumenta por el contrario que el empleo de teorías no fundamentales no solo presenta ventajas, sino que resulta irrenunciable en principio; si bien no queda del todo claro hasta qué punto pretende Batterman deducir de ahí consecuencias ontológicas.

4.3. **SIMULACIONES DE ORDENADOR**

El estudio de los sistemas caóticos debe su auge desde los años 60 en especial al empleo de los ordenadores, que permiten un cálculo progresivo de soluciones de ecuaciones no lineares de movimiento ante el que uno tenía que rendirse anteriormente. Para la teoría del caos, contar con potentes ordenadores

constituye una herramienta imprescindible, porque las ecuaciones no lineares en muy pocos casos se pueden resolver directamente. Problemas similares se presentan también en muchos otros casos de sistemas complejos con múltiples elementos (por ejemplo, bancos de peces), cuyas interacciones se calculan fragmentándolas en dependencias sencillas. De este modo, las simulaciones de ordenador se han convertido en un nuevo tema para la filosofía de la ciencia.

Las simulaciones de ordenador permiten por su enorme potencia de cálculo analizar fenómenos que antes no eran matemáticamente manejables. En especial dinámicas complejas, que vienen descritas mediante sistemas de ecuaciones diferenciales acopladas y no lineales. Tales ecuaciones diferenciales especifican como se comportará en el «instante inmediatamente posterior» un sistema cuyo estado en un instante dado es conocido, sin que toda la evolución posterior sea detallable. De esta forma, ecuaciones diferenciales que no pueden ser integradas hasta el final, y que por ello no son resolubles explícitamente, se dejan «resolver» numéricamente paso a paso, aunque tampoco ahora pueda explicitarse una solución cerrada. Y ese es justo el modo de proceder de los programas de ordenador. Se calculan ciertas expresiones cuyo resultado se incorpora inmediatamente a los próximos cálculos. En este sentido, los ordenadores están hechos como a propósito para la solución numérica de sistemas analíticamente inmanejables de ecuaciones diferenciales, que a su vez son típicos de la dinámica de los sistemas complejos.

Conforme al paradigma clásico, que podríamos llamar «astronómico», uno intenta resolver cerradamente las ecuaciones, y determinar una expresión matemática para el camino de un sistema en el espacio de los estados. Pero esto no va a funcionar por lo general para las ecuaciones de movimiento no lineales, y especialmente cuando hay numerosas partículas que desempeñan un papel importante. En estos casos se puede calcular la trayectoria paso a paso, o simularla por ordenador. Tanto en el caso clásico como en el de las ecuaciones que no pueden resolverse cerradamente existen métodos para llegar a

enunciados generales que no presuponen el cálculo de la trayectoria en el espacio de los estados. En el espacio de los estados se trata por ejemplo de las investigaciones sobre la estabilidad del sistema planetario. Pero también en los nuevos casos se realizan investigaciones de la estabilidad, del comportamiento a largo plazo, etc. De hecho, gran parte de las teorías de los sistemas complejos consiste precisamente en tales métodos de análisis del comportamiento temporal sin cálculo explícito de las trayectorias.

El uso extendido de simulaciones de ordenador en las ciencias tradicionalmente empíricas supone un gran reto para la filosofía de la ciencia. Se plantean, entre otras, las siguientes preguntas: ¿Exigen los sistemas complejos un nuevo concepto de contrastación de las afirmaciones científicas (a saber, por medio de simulaciones de ordenador)? ¿Qué relación existe entre las simulaciones de ordenador y, por una parte, los experimentos mentales, y, por otra, los experimentos reales? ¿En qué medida representan el mundo las simulaciones de ordenador? ¿Pueden las simulaciones de ordenador proporcionarnos explicaciones?

4.4. **AUTOSIMILITUD E INVARIANCIA DE ESCALA**

Otro ejemplo de método de análisis que se emplea con éxito en el caso de diversos sistemas complejos se encuentra relacionado con los conceptos de autosimilitud e invariancia de escala. «Autosimilitud» de un sistema significa que en cada escala de tamaño siempre presenta (estructuralmente) el mismo aspecto. No hay, por tanto, ninguna escala de tamaño privilegiada. Ejemplos típicos son las flores de hielo y los fiordos. Junto con su formación por medio de construcción iterativa, la autosimilitud se fundamenta en que la leyes que determinan el sistema considerado presentan invariancia de escala. Mediante la expresión «invariancia de escala» se denomina el hecho de que un sistema no posee ningún tamaño (o ningún orden de magnitud en el tamaño) característico. Dicho de otra manera, nos hallamos ante una invariancia de escala cuando el fenómeno considerado (o la ley) no cambia (es «robusto») si cambiamos de escala. Un caso muy conocido es la ley de la gravitación de Newton, que rige igual para lo grande

(los movimientos de los planetas) y para lo pequeño (la caída al suelo de los platos. Dimensiones características se dan en cambio cuando los fenómenos solo aparecen a cierta escala, así como por ejemplo los sentimientos no se dan ni a nivel neuronal ni a nivel de las sociedades.
Un ejemplo de longitud característica en la física fundamental es la (únicamente calculada) longitud de Planck, que desempeña un papel en las teorías del origen del universo.

En la investigación de los sistemas complejos se presta mucha atención a rastrear el comportamiento de escala arriba descrito. Se considera un éxito (para los legos decepcionantemente falto de espectacularidad) el poder presentar los valores de las medidas en forma de una curva lineal, es decir, de una recta. El requisito previo para ello es sin embargo el empleo de una notación logarítmica, de manera que la recta hallada simplemente haga reconocible de manera sencilla que se ha encontrado una ley de potencias. Lo cual a su vez es una expresión matemática de la autosimilitud.

Se puede distinguir la autosimilitud exacta y la autosimilitud estadística. En el caso de autosimilitud estadística, los objetos en sí no son similares, pero se aplica a determinadas regularidades estadísticas que rigen para objetos de tipos distintos. Un destacado ejemplo de autosimilitud estadística es el movimiento browniano, que fue observado primeramente en las partículas microscópicas de polvo. Se muestra que el mismo tipo de movimiento se presenta a cualquier escala. Para el movimiento browniano, por tanto, no existe ninguna longitud característica, o escala característica. Algo similar ocurre, por ejemplo, para los valores de las acciones. Dejando a un lado efectos particulares que vienen condicionados, por ejemplo, por el hecho de que el comercio no se realice ininterrumpidamente, pueden observarse las mismas propiedades estadísticas en cada escala de tiempo. Además, la evolución de los valores posee una exacta autosimilitud, puesto que echando un vistazo a la evolución de un valor no puede reconocerse si se trata por ejemplo de un periodo de semanas o de meses.

Como en el caso de otras simetrías, la existencia de

invariancia de escala hace posible obtener información importante de una manera muy elegante y simple. En el caso de invariancia de escala, esto significa en particular que cabe realizar afirmaciones significativas acerca de la dinámica de un sistema sin que las ecuaciones que están en la base del movimiento deban ser resueltas en absoluto. Un ejemplo de esto es que, debido a la invariancia de escala del oscilador armónico, es decir, sobre la base de meras consideraciones de simetría, se puede averiguar que la duración de la oscilación (esto es, el tiempo necesario para una oscilación completa) es independiente de la amplitud. También por la que se refiere a la invariancia de escala se muestra nuevamente que las teorías de los sistemas complejos se caracterizan en especial porque intentan (cada una de manera distinta) obtener conocimientos sobre tales dinámicas que no pueden (de hecho o en principio) ser analizadas por medio de teorías fundamentales.

5. **ASPECTOS DE FILOSOFÍA DE LA NATURALEZA DE LOS SISTEMAS COMPLEJOS**

En lo que sigue voy a discutir algunas cuestiones de filosofía de la naturaleza que poseen una relevancia especial para los sistemas complejos. Para ello haré mención de algunos ámbitos de la filosofía de la ciencia, para valorar qué consecuencias tienen las nuevas teorías para nuestra imagen de la naturaleza y del mundo.

5.1. **REDUCCIÓN Y EMERGENCIA EN LOS SISTEMAS COMPLEJOS**

Los sistemas complejos plantean algunas preguntas importantes a la filosofía de la naturaleza: ¿Pueden reducirse las propiedades de los sistemas complejos a los componentes del sistema, o son emergentes? De un modo similar a como la teoría general de la relatividad es considerada en ocasiones como un argumento claro contra las concepciones sustancialistas del espacio y el tiempo, no resulta raro que se interprete que sobre todo las teorías de la autoorganización proporcionan un punto decisivo en determinados debates filosóficos. Y así, a veces se las interpreta como un claro argumento contra el reduccionismo. No obstante, las teorías de la autoorganización

se dejan también considerar como la coronación del programa reduccionista (a la vista del hecho de que, por ejemplo, el sistema de ecuaciones diferenciales que encontramos en la base de la teoría del láser se construye a partir de la física fundamental), del mismo modo como cabe argumentar que la teoría general de la relatividad favorece una consideración sustancialista del espaciotiempo. De hecho, las teorías de la autoorganización fueron inicialmente también consideradas como un apoyo para el reduccionismo. Como subraya (Stöckler, 1991), la valoración dominante cambió más adelante de un modo sorprendente, hasta el punto de que las teorías de la autoorganización pasaron a ser discutidas en primer término por aquellos que buscaban argumentos contra el reduccionismo.

Si se tiene la impresión de que en el plano macroscópico surgen propiedades sistemáticas de nuevos tipos (es decir, propiedades cualitativamente nuevas), que eran esencialmente inesperables e impredecibles desde el plano de los componentes, entonces suele decirse con frecuencia que dichas propiedades son «emergentes». En el caso de los sistemas complejos es cierto que la predictibilidad está sometida a límites, pero esto atañe ante todo a la dinámica de las propiedades del sistema. En especial en el caso de las interacciones no lineares entre los componentes las pequeñas diferencias en las condiciones iniciales en el plano microscópico son amplificadas rápidamente a enormes diferencias en el plano macroscópico, el llamado efecto mariposa. (Véase el recuadro informativo sobre los diagramas de fases).

De muchos de los intérpretes de las teorías de la autoorganización puede criticarse que en última instancia se mueven entre dos posiciones carentes de interés, que tienen que ver estrechamente con el concepto de emergencia. O bien las interacciones entre los componentes del sistema son subsumidas bajo el concepto de relación, en cuyo caso los fenómenos considerados ya no son en modo alguno emergentes, puesto que pueden reducirse a las propiedades y relaciones de los componentes del sistema. Y en especial ya no se distinguen entonces las propiedades supuestamente emergentes de las

simples propiedades sistémicas, es decir, de las propiedades que necesariamente han de aparecer en primer lugar en el plano, las más de las veces macroscópico, del sistema total. O bien parte uno de que la estructura de un sistema total (y por tanto en particular las interacciones entre sus componentes) no puede emplearse en explicaciones reductivas. En ese caso las propiedades de los sistemas que se autoorganizan serían sin duda emergentes, pero con ellas lo serían, de nuevo, todas las propiedades sistémicas. En última instancia, por tanto, ambos enfoques interpretativos de las teorías de la autoorganización se enfrentan al mismo problema. Puesto que las propiedades emergentes ya no pueden distinguirse de las propiedades sistémicas, el concepto de emergencia no sería adecuado para distinguir una determinada clase de propiedades.

En contra puede objetarse que los sistemas complejos poseen determinadas características dinámicas que permiten ser distinguidas de las propiedades sistémicas habituales (o su dinámica). Las interacciones entre los componentes en el caso de los sistemas complejos (especialmente debido a su no linearidad) son de tal clase, que en el plano del sistema se producen propiedades que notablemente aún surgen cuando la configuración de los componentes en los planos inferiores es alterada (dentro de unos límites). Se dice que las propiedades del sistema son estables o robustas con respecto a las condiciones iniciales y de contorno. Estas propiedades emergentes pueden incluso ser (estructuralmente) las mismas, aunque no solo la configuración específica, sino incluso la naturaleza material de los ingredientes sea otra. Esto puede ser precisado con ayuda del concepto de «clases de universalidad». La dinámica de las propiedades del sistema en un plano superior es independiente de una manera específica con respecto al plano de sus componentes. En esta dirección puede por ejemplo entenderse a (Batterman, 2002), el cual argumenta, sobre todo en su muy discutido libro *The Devil in the Details*, que la característica gran irrelevancia de los microdetalles de cara a la presencia de un comportamiento universal (en relación con las clases de universalidad) representa una frontera del

reduccionismo.

Por último, cabe defender la opinión de que incluso si uno considera que, por ejemplo, la luz del láser es reducible, aún así puede hablarse de emergencia en el caso, pongamos, de la autoorganización, siempre que usemos un concepto correspondientemente pragmático de emergencia, puesto que aparecen nuevas propiedades cualitativas. En este sentido, la emergencia depende de nuestra valoración de lo que sea una «nueva propiedad interesante».

5.2. **AUTOORGANIZACIÓN Y CAUSALIDAD**

Las teorías de la autoorganización, como, en general, las teorías de los sistemas complejos, introducen nuevos conceptos en el plano medio. Se trata en especial de los «parámetros de orden» (u «ordenadores») ya introducidos en los ejemplos de más arriba. Se plantea la pregunta de si se puede atribuir un poder causal a las entidades así denominadas, es decir, si pueden ser consideradas legítimamente como causas. Con ello nos hallamos ante una variante específica de la «causación de arriba a abajo» (*downward causation*), puesto que los «ordenadores» son magnitudes macroscópicas, a saber, propiedades o estados del sistema total, que influyen, en tanto que magnitudes sistémicas, en el comportamiento de las partes del sistema.

Un ejemplo de esta discusión es la crítica de (Stephan, 1999) a Haken, de que este pasa, sin más justificación, desde un plano descriptivo a uno teórico-causal. Para explicitar de manera más precisa su crítica, distingue entre dos tesis diferentes de Haken, que Stephan denomina la tesis descriptiva y la tesis teórico-causal. La tesis descriptiva de Haken consiste según Stephan en que, con frecuencia, «el comportamiento de un sistema en los puntos de inestabilidad se deja traducir en el comportamiento de un número muy pequeño de magnitudes (los ‘ordenadores’)» (que son las nuevas magnitudes). Formulado de modo más general, Haken ve aquí la posibilidad de una notable compresión de información, puesto que para describir el comportamiento del sistema basta con identificar el ordenador y describir su comportamiento, en lugar de describir todos y cada

uno de los componentes. Stephan identifica la por él denominada «tesis teórico-causal» de Haken en la afirmación del «principio de esclavización» a la manera en que el propio Haken lo formula. Se trata ahí (en una forma que solo se distingue terminológicamente de la versión de Stephan) de la afirmación de que el ordenador esclaviza las partes individuales del sistema, en el sentido de que fija el comportamiento de las partes.

Según Stephan, la tesis descriptiva de Haken se encuentra bien apoyada por numerosas aplicaciones, así como por una sólida formulación matemática. Pero no así la tesis teórico-causal, hacia la que Haken deriva sin fundamentación desde la tesis descriptiva y pasando por el paso intermedio de la tesis (descriptiva) de la posibilidad de la compresión de la información. Por medio de la tesis teórico-causal se le atribuye a los nuevos conceptos y magnitudes un efecto causal. El decisivo desplazamiento del acento consiste en la transición desde la justificada afirmación de que es suficiente para la descripción del sistema con proporcionar unas pocas magnitudes sistémicas (macroscópicas), y que por consiguiente resulta innecesario poseer información sobre todas las partes individuales del sistema, hacia la injustificada afirmación (la tesis teórico-causal) de que determinadas magnitudes sistémicas causan el comportamiento de las partes. Formulado más generalmente, con el desplazamiento del acento se genera, a partir de una tesis sobre las representaciones posibles (la tesis descriptiva), una tesis acerca de qué es lo que se representa (la tesis teórico-causal), y con ello también una tesis ontológica (a saber, sobre la existencia de determinadas magnitudes como causas). Con ello surge el problema de convertir los ordenadores en agentes causales, y de modo que se puede producir una imagen falsa en relación con la reductibilidad. Eso depende de cómo se entienda la relación causal. Stephan reconoce, que Haken prefiere hablar de causalidad circular para la relación causal entre ordenadores y partes del sistema, puesto que los propios ordenadores han surgido primeramente a través de la interacción de las partes del sistema. Pero resulta cuestionable si «causalidad circular» es una

simple variante inofensiva de la causalidad habitual, o si no resulta más bien un caso de la más fuerte *downward causation*.

Stephan (1999: 234) ve en la transición de Haken desde una interpretación puramente estructural de las relaciones matemáticas hacia una lectura teórico-causal una falacia del tipo *post hoc, ergo propter hoc*, puesto que se extrapola desde una relación funcional de sucesión hacia una relación causal entre el ordenador y los componentes del sistema. De forma aún más tajante y polémica, critica Stephan la, según su análisis, injustificada afirmación de Haken sobre el efecto causal de ordenadores en relación con los sistemas sociales. De manera que, por ejemplo, el clima de una empresa no esclaviza el comportamiento de ningún empleado, porque «el clima de una empresa no hace nada» (Stephan, 1999: 237).

El problema general consiste en la rivalidad de las descripciones en los distintos planos. Cabe también pensar en una pluralidad, si uno parte de que, en principio, resulta legítimo atribuir poder causal a las entidades más complejas. Sin que esto, no obstante, excluya que los elementos más complejos sean reducibles, o dependan de modo definible de los planos inferiores.

6. **CONCLUSIÓN**

Ya el propio término «autoorganización» parecería indicar que las teorías de la autoorganización se mueven en el marco del naturalismo. Sean las que sean las nuevas cualidades que surjan en los procesos de autoorganización, lo harían desde sí, es decir, sin intervención exterior, y en especial sin intervención sobrenatural. Y así las explicaciones del origen de la vida que se apoyan en teorías de la autoorganización son por regla general concebidas expresamente como alternativas naturalistas a planteamientos de motivación religiosa. El discurso acerca de ordenadores, principio de esclavización etc. debería ser entendido ahí de forma metafórica. No obstante, este punto de vista no se corresponde con todas las interpretaciones de las teorías de la autoorganización. Desde una perspectiva ontológica, pueden distinguirse, con respecto a las teorías de la autoorganización, y en general los sistemas complejos, en

especial las siguientes posiciones básicas:

Reduccionismo ontológico sin reduccionismo metódico: Se mantiene la tesis del reduccionismo ontológico, y solo se abandona el reduccionismo metódico. Una reducción al plano de los componentes microscópicos, ni es realizable en la práctica, en el caso de muchos fenómenos, ni aporta ganancia explicativa alguna, pero esto resulta compatible con el reduccionismo ontológico. La mayoría de los filósofos de la ciencia acepta esta posición, como por ejemplo (Bartels, 1996) y (Stephan, 1999). Más allá de esto puede argumentarse que la prueba detallada y bien fundamentada teóricamente de en qué casos y por qué motivos no resulta útil una micro-reducción metódica, constituye incluso un soporte del reduccionismo ontológico (Stöckler, 1991). En esta perspectiva, los fenómenos pueden ser considerados emergentes como mucho en un sentido pragmático, es decir, en relación con lo que nosotros podemos predecir y esperar con nuestros limitados medios.

Fisicalismo no reductivo, o naturalismo: Los estados de los sistemas complejos supervienen a los estados de sus componentes, pero no son reducibles a ellos. La superveniencia describe de este modo una relación de dependencia según la cual un sistema complejo no puede modificarse sin que se modifiquen sus partes (incluyendo sus interacciones). Un recurso a fuerzas sobrenaturales no sería necesario. El fisicalismo no reductivo es clasificado a veces como una forma moderna de emergentismo. No está nada claro que esta posición se distinga en última instancia de la primera, puesto que resulta difícil de reconocer si desde el mantenimiento del fisicalismo (y por tanto del reduccionismo ontológico) puede afirmarse una imposibilidad de la reducibilidad que vaya más allá de la imposibilidad de la variante metódica, concedida en la primera posición.

Emergentismo fuerte: Según esta posición, hay que descartar una reducción de las inesperadas propiedades de los sistemas complejos, no solo metódica, sino también ontológica. Precursores históricos de esta posición fueron el dualismo cartesiano y el vitalismo del siglo XIX. En la actualidad no suele

defenderse en las discusiones técnicas, pero en las exposiciones divulgativas de las teorías de los sistemas complejos sí que suele sugerirse con frecuencia esta posición, incluso con expresiones encendidas, si bien casi nunca explicitada de forma teórica.

Irrelevancia de la ontología: La propia perspectiva ontológica es considerada aquí como irrelevante (como defienden por ejemplo Gallison, Cartwright, y es la posición básica de muchos científicos). La focalización actual hacia aspectos estructurales que abarcan transversalmente distintos campos y son multidisciplinares significa un alejamiento de las ciencias determinadas materialmente, en las que aún pudieran tener un sentido las cuestiones ontológicas. Según esta posición, el progreso de la investigación no solo no depende de cuestiones ontológicas, o filosóficas, sino que estas en parte incluso lo entorpecen. Contra esta posición puede objetarse que la ontología dispone de más conceptos que los que aquí se suponen. En particular no debería identificarse ontología con ontología sustancialista.

Todas estas posiciones parecen ser compatibles con las teorías de los sistemas complejos. Y, en particular, la posibilidad de la más arriba discutida reducción en el caso típico del láser apunta a que incluso el reduccionismo ontológico podría ser defendible, si bien no uno metodológico.

7. **Sugerencias bibliográficas**

Auyang, 1998 y Mainzer, 2004 constituyen exposiciones detalladas en las que se discuten las teorías de los sistemas complejos, especialmente desde un punto de vista conceptual. Mientras que Mainzer se orienta hacia los campos particulares, Auyang intenta una estructuración sistemática. Batterman, 2002 es un libro muy discutido, que a partir de un tipo importante de teorías de los sistemas complejos explora, por ejemplo, qué consecuencias pueden extraerse para la pregunta de qué es una buena explicación. Otros temas importantes son la emergencia y el reduccionismo. La obra colectiva Beckermann et al., 1992 ofrece sólidos análisis acerca de hasta qué punto los sistemas complejos proporcionan nuevos argumentos para la posición del fisicalismo no reductivo. Bak, 1996; Haken, 1990 y Simon, 1994

son libros clásicos de científicos particulares, muy discutidos y de lectura recomendable. Bechtel; Richardson, 1993 es un trabajo innovador sobre el análisis conceptual de los sistemas complejos, pero concentrado muy especialmente en la biología. Específicamente sobre la teoría del láser, véase Haken, 1990: cap. 8, y Haken et al., 1996, sobre la teoría del caos Kellert, 1993; Koch, 1994 y Stöckler, 1999, sobre las simulaciones de ordenador Hartmann,1995; Hartmann, 1996; Humphreys, 2004; Skyrms, 2003 y Simon, 1994. Finalmente, por lo que se refiere a la autosimilitud: Schroeder, 1994.

1 Traducción de Francisco Soler Gil.

VIII. **Vida y Evolución**

José Luis González Recio
Universidad Complutense de Madrid

La vida nunca se reducirá a una fórmula, nunca la aprehenderemos como tal, puesto que el acto mismo de percibirla es ya una manifestación de ella...

EDGAR MORIN

Hay grandeza en esta concepción de la vida, alentada en unas pocas o incluso en una sola manifestación original, y que, con sus diversas fuerzas, mientras el planeta ha ido girando de acuerdo con la ley de la gravedad, se hayan desarrollado y se estén desarrollando, a partir de un principio tan sencillo, infinidad de las más bellas y portentosas formas.

CHARLES DARWIN

Tras el cierre de las universidades españolas en abril de 1929, decretado por Primo de Rivera, Ortega continuó impartiendo en el teatro Infanta Beatriz de Madrid el curso que dictaba aquellos días desde su cátedra de la Universidad Central. Tenía por título *¿Qué es filosofía?* A él pertenecen estas palabras:

> Los biólogos usan [el término] «vida» para designar los fenómenos de los seres orgánicos. Lo orgánico es tan solo una clase de cosas que se encuentran en la vida junto a otra clase de cosas llamadas inorgánicas. Es importante lo que el biólogo nos diga sobre los organismos, pero es también evidente que al decir nosotros que vivimos y hablar de «nuestra vida», de la de cada cual, damos a esta palabra un sentido más inmediato, más amplio, más decisivo. El salvaje y el ignorante no conocen la biología y, sin embargo, tienen derecho a hablar de «su vida» y a que bajo este término entendamos un hecho [...] previo a toda biología, a toda ciencia, a toda cultura —el hecho [...] que todos los demás hechos suponen e implican. El biólogo encuentra la «vida orgánica» dentro de su vida como un detalle de ella: es una de sus ocupaciones vitales y nada

más (Ortega, 1972: 213).

En el horizonte filosófico de Ortega, es cierto, la vida de cada uno de nosotros aparece como la instancia primaria —la realidad radical, según él prefiere expresarlo— a la que cualquier otra cosa ha de remitirse y vincularse. La biología, la actividad científica y profesional del biólogo, surge dentro de ese escenario preferente que es su propia vida. Los demás seres vivos, incluso él mismo en cuanto compleja forma orgánica, son noticias que encuentra enmarcadas en un fundamental y primigenio vivir. La biología ha de ser explicada desde la vida. Dedicarse a la biología es, en suma, una manera de vivir. Si queremos que se asiente en suelo firme, no cabe orientar en sentido inverso nuestra reflexión. ¿Acaso alguna vez la biología podrá dar cuenta de esa realidad vital originaria sobre la que Ortega nos quiere hablar? A lo largo de las siguientes páginas tendremos ocasión de comprobar que las ciencias biológicas se han entregado precisamente a tal empeño en los últimos cien años, con todos los recursos de su capacidad de creación teórica. La propuesta orteguiana —como él mismo subrayaba— suponía *de facto*, pero sobre todo de *iure*, el primado de la filosofía sobre la ciencia; constituía una apuesta ontológica y epistemológica profunda y comprometida. Con razón se la define como *raciovitalista* en los manuales de historia de la filosofía, al compartir importantes elementos comunes con otros vitalismos. Pero la advertencia sobre esa polaridad vida-biología había sido ya señalada muchos siglos antes, sin embargo, por los médicos del helenismo. Cuando los límites terapéuticos de la medicina hipocrática y de la medicina galénica se hicieron patentes, cuando la enfermedad incurable o mortal era diagnosticada, resultaba necesario integrarla en la *vida-vivida* —si se me permite la expresión—, porque esta trasciende, en efecto, la vida como escueta realidad biológica. Aparece entonces la figura del médico del alma: aquel capaz de enseñar al enfermo el camino para que el dolor y la angustia no aneguen su entorno vital, su vivir. No obstante —como decía—, nuestra presente hora cultural pide la inversión de la postura avalada por la

antropología de los vitalismos. La ciencia y lo que desde ella se contempla quieren imperar sobre la filosofía y lo que desde ella se vislumbra. La biología desea hacerse cargo no solo de la *vida-vivida* sino, con ella, de la vida moral, de la vida social y de la vida teorética. Tal es el *tema de nuestro tiempo*. Nos toca ahora entender cómo se ha producido ese cambio de rumbo. Solo me resta añadir que coincido con quienes no aceptan esta oposición cuando se entiende inconciliable, pues, a mi entender, la filosofía de la naturaleza sin ciencia natural es vacía y la ciencia natural sin filosofía de la naturaleza es ciega.

1. **FORMA Y FUNCIÓN**

El dinámico panorama que la Naturaleza ofrecía a los primeros griegos interesados en explorarla intelectualmente les llevó a creer que todo ser natural poseía vida. La Naturaleza entera estaba provista de vida. Solo cuando comprendieron que en el mundo existían también cuerpos inertes, les fue preciso establecer cuál era el principio activador y sostenedor que hacía distintos a los seres vivos de los demás. No sustancializaron la vida humana para convertirla en ámbito de meditación. Los médicos helenísticos resultaron, pues, una singularidad a este respecto. Había que determinar qué hacía diferentes a las plantas, a los animales y al hombre del resto de los seres. La filosofía y ciencias griegas entendieron que el alma constituía aquel principio diferenciador, si bien no se alcanzó un acuerdo sobre su estatuto ontológico, sobre su carácter esencial. Las concepciones materialistas convivieron con visiones abiertamente apartadas del materialismo, pero fue el pensamiento de Aristóteles el que encauzó con una influencia mayor y durante más tiempo la investigación sobre los seres vivos. En el contexto general de su hilemorfismo, donde cualquier entidad se resuelve en un compuesto de materia y forma, el alma es para Aristóteles la forma de los seres vivos; además: «…están en lo cierto cuantos opinan que el alma ni se da sin un cuerpo ni es en sí misma un cuerpo» (Aristóteles, 1978, II, 2, 414a19-20). Aunque en el alma recae la activación de todas las funciones orgánicas, es decir, pese a que toda la propensión funcional del organismo nace de ella, el alma es ante

todo un principio formal. En el curso posterior de la biología llegará a discutirse qué elemento del par estructura-función posee auténtica prioridad. En Aristóteles —y con pocas excepciones hasta finales del siglo XVIII—, dicha prioridad se adjudica siempre a la forma. La forma sustancial tiene una completa dimensión metafísica, pero su impronta se traduce después en la relevancia de la forma anatómica. Por eso se entendió que la fisiología tenía que ser desarrollada partiendo de la morfología, y por ello también la pregunta por la organización específica del viviente encontró su respuesta en el valor crucial del alma como principio formal.

El camino que a partir de entonces emprendió la biología puede describirse como una búsqueda de las raíces de la organización vital, del orden que rige la constitución de esos seres que había que entender como animados. Serán Treviranus y Lamarck quienes introduzcan el término «biología» en el siglo XIX, pero la clase de tarea científica a que la palabra se refiere había comenzado miles de años antes. Y en esa búsqueda que quería encontrar las raíces de la organización biológica, las ciencias de la vida han ensayado tres modos de acercamiento al problema: las perspectivas dominadas por la organización en la forma, por la organización en el espacio y por la organización en el tiempo. Conviene subrayar que no son enfoques excluyentes, aunque es verdad que han ejercido una influencia característica y singular en distintos momentos históricos. La biología de la forma ofreció una teoría de la organización basada en el concepto de *sustancia*, en la teleología y en la interpretación *dinamista* de las funciones orgánicas. La noción aristotélica de sustancia fue su núcleo articulador, así como el foco de una opción organicista que aún admiran los holistas contemporáneos. El orden estructural y la actividad funcional solo podían entenderse por los fines que cumplen y por su movilización desde el interior del organismo. Con el refrendo del sistema galénico (siglo II d.C.), la biología de la forma será recuperada en Occidente durante la Baja Edad Media, dirigirá a los naturalistas del Renacimiento, prolongará su influencia en la fisiología de Harvey y aún mantendrá cierto vigor un siglo

después (siglo XVIII) dentro de la sistemática de Linneo. Durante todo este tiempo, el ser vivo queda concebido como una entidad cuya definitiva forma es su alma.

Cien años antes, con todo, emerge una nueva lectura de la organización biológica que pasa a entenderse como organización en el espacio. La forma geométrica sustituye a la forma sustancial cuando la revolución científica extiende, desde la física a la biología, sus asunciones nucleares. En cada uno de los dominios de investigación —anatomía, fisiología, teoría de la generación, taxonomía…— se hace evidente que la relación espacial *es* la base de las estructuras y de los procesos que manifiestan los seres que poseen vida. Como cualquier otro cuerpo natural, un cuerpo vivo es también materia en movimiento. Nada puede extrañar, por lo tanto, que la fibra muscular1 adquiera el rango de entidad biológica cardinal, una vez que los *movimientos vitales* dejan de entenderse como actividades regidas por el alma para convertirse en *movimientos locales*. La fibra soporta todas las acciones motrices en que la vida se resume, pues esta consiste en puro movimiento local sometido a leyes mecánicas. En realidad, los iatromecánicos y Descartes están convencidos de que el ser y la vida animal no son más que un continuo movimiento local de corpúsculos (Laín Entralgo, 1978: 256). Así, la forma geométrica ofrece los secretos de la configuración anatómica; del parentesco —como analogía en la configuración estructural de las especies—; de la embriogénesis que conciben los preformacionistas —en cuanto inclusión de unos gérmenes en otros dentro de un *espacio biológico* indefinidamente minimizable—, o de los principios que permiten justificar la actividad fisiológica asimilándola a un desplazamiento local de partículas en el interior del organismo2. El siglo XVII fue para la biología, en conclusión, el siglo de la fibra, como el siglo XVIII será el del tejido, el XIX el de la célula y el XX el de la molécula (Jacob, 1970). A lo largo de este período, que nace con el siglo XVII y empezará a cerrarse hacia mediados del siglo XVIII, los seres vivos son entendidos como sofisticados mecanismos que era innecesario calificar de naturales, pues la frontera entre lo natural y lo artificial parecía

quedar por completo difuminada[3].

Hay en ambas fases históricas seducidas por la forma —forma sustancial y forma geométrica— una concordancia que fue producto de la imagen del universo que presidió la actividad científico-filosófica hasta el siglo XIX: el convencimiento de que la Naturaleza ejerce un mandato conservador sobre sus productos y operaciones. El orden natural es un orden dinámico, pero sometido a la conservación. En el universo increado que imaginó Aristóteles, los seres vivos solo participan transitivamente de la eternidad a través de la especie. La Naturaleza conserva las especies. En la época de la biología mecánica, las leyes físicas son especialmente principios conservadores de magnitudes capitales: la masa, la cantidad de movimiento, el momento cinético y, más tarde, la carga eléctrica o la energía. Por ello, también nos encontramos ante una anatomía, una fisiología, una taxonomía o una embriología *de la conservación*. Muy al contrario, la nueva teoría de la organización biológica que inicia su andadura en la segunda mitad del siglo XVIII, si bien atesoró este mundo regido por la estabilidad, acabaría consolidando, no obstante, el espectáculo de un universo abierto cuyo impulso central será la *creación* en el tiempo de órdenes inéditos. El mantenimiento de las relaciones en el espacio queda incorporado, así, al concepto de un universo polarizado, sin embargo, hacia la composición en el tiempo. En la biología aristotélica, la especie —la forma de la especie, el alma— daba cuenta del origen y de los límites del cambio en los seres vivos[4]; dentro de la biología darwinista, el cambio en el tiempo nos proporciona la razón del *origen de las especies*: los seres vivos, en su estructura y funciones, tienen historia, son hijos del tiempo. No se trata de un rasgo superficial o secundario: un organismo es ya un ser cuya esencial complexión y actividades se han construido en una historia filogenética.

2. **TIEMPO Y TRANSFORMACIÓN**

El siglo XIX iba a consagrarse con rapidez como una etapa de acentuada consolidación para la biología contemporánea. Junto al desarrollo del transformismo maduro —al que contribuyeron

Lamarck, Darwin, Wallace, Huxley, Neumayr, Haeckel o Weismann—, a lo largo de sus cien años se constituirán: la citología —gracias a los trabajos de Schleiden, Schwann y Virchow—; la fisiología experimental —de la mano de Magendie, Bernard, Vulpian, von Helmholtz, Ludwig y du Boys-Reimond—; la nueva embriología —iniciada por von Baer y continuada por His y Roux—; la microbiología —en la que Cohn, Pasteur y Koch son figuras destacadas—; e igualmente la genética —cuya presentación oficial corre a cargo de Correns, von Tschermak y de Vries en 1900, al haber permanecido ignorada la memoria de Mendel en torno a sus experimentos sobre hibridación en plantas (Mendel, 1865). Ahora bien, debajo de esta proliferación disciplinar existe, con todo, un subsuelo primordial común: el papel determinante concedido al tiempo. No solo en cuanto marco que hace posible la evolución, sino como sustrato básico incorporado a todas las ciencias de la vida: como exigencia para la formación celular, como microcronología en que se ordena la actividad metabólica, como expresión de los ciclos vitales de las bacterias, como *tempo* ontogenético o como medio para la aparición de las diferentes combinaciones de los alelos. Podría objetarse que esto equivale a una reificación del tiempo, pero no me es posible entrar en esa cuestión. Tanto si se acuerda un acercamiento leibniziano a la naturaleza del tiempo, como si se prefiere una aproximación newtoniana, es decir, tanto si el tiempo es subsidiario del proceso, como si la actividad biológica se da en un tiempo independiente de ella, lo cierto es que los biólogos comenzaron a explorar una vía de articulación conceptual que se ha prolongado hasta nuestros días.

Las consecuencias fueron enormes. Semejante acento en la organización ligada al tiempo ha permitido explorar la posibilidad de una biología que puede dar prioridad a la actividad y a la función sobre la forma. Así ocurrió en el transformismo lamarckiano, pero dicha prioridad fue igualmente decisiva en el tránsito desde la fisiología o la química biológica —dependientes de la forma orgánica— a la bioquímica; y se prolonga en propuestas filosóficas y científicas

como las que han realizado Bergson, Whitehead, o Prigogine. En su versión extrema, el predominio de la función sobre la forma ha conducido en ocasiones al funcionalismo: no importa el soporte material del sistema; hay que atender simplemente a su capacidad para cumplir las funciones u operaciones de que se trate. Dentro de las neurociencias podemos encontrar frecuentes empeños funcionalistas, instrumentalistas o pragmatistas, por ejemplo. Un sistema computacional puede realizar algunas operaciones con resultados similares a los que consigue el cerebro humano, y esto es lo crucial para ciertas escuelas y autores. En mi opinión, acercarse rigurosamente al estudio de las estructuras y funciones que hallamos en los seres vivos nos obliga a no olvidar que su nacimiento y conformación se han edificado en los caminos de la historia evolutiva5. Ello posee una fuerza ontológica indudable e irrenunciable. Pero, a la vez, tal ligadura ontológica se refiere a la realidad del proceso evolutivo, sin prejuzgar la naturaleza de sus productos, es decir, sin que quede establecido si lo que evoluciona son organismos o máquinas biológicas. Por tal motivo, no es extraño que, tras ser aceptada la teoría de la evolución, en los primeros años del siglo XX se avivara la controversia entre el materialismo mecanicista (Loeb, 1912) y el mecanicismo holista (Sherrington, 1906; Cannon, 1938), sin que quedasen resueltos los problemas de la reducción ontológica, teórica o metodológica (Allen, 1983: 168-245; Ayala; Dobzhansky, 1983:10-13). Prueba de ello es que la controversia ha seguido abierta al hacerse explícitos los cimientos filosóficos que acompañan a muchas posiciones científicas relevantes. Los distintos matices que separan las posiciones de Monod y Jacob sobre la integración biológica o la discusión entre Dawkins y Goodwin en torno a la relación gen-organismo son bastante reveladores en este orden de cosas. Muestran que tanto el reduccionismo como el antirreduccionismo mantienen abiertas sus expectativas. Monod promovió una defensa del enfoque cibernético para explicar el control y la regulación en las interacciones entre genes y enzimas, extendiendo tal propuesta a una interpretación *teleonómica* —en última instancia mecanicista— de la venerable

teleología. Jacob estuvo más cerca siempre de los principios organicistas que latían en la teoría de sistemas de von Bertalanffy, defendiendo la organización jerárquica de los complejos sistémicos. Por su parte, en la confrontación —a veces explícita y hasta airada— que han mantenido Dawkins y Goodwin, el primero no ha dudado en propugnar su pangenetismo —los genes explican los organismos—, mientras el segundo ha hecho valer su convicción de que, si hace falta señalar una dependencia auténtica, lo que encontramos es la subordinación de los genes a los organismos. En nuestro presente más cercano, la perseverancia reduccionista de Francis Crick o Daniel Dennett ha convivido con el proyecto antirreduccionista que aportan las ciencias de la complejidad, los trabajos sobre sistemas dinámicos no lineales y la teoría del caos. Para un acercamiento con mayor profundidad al problema de la reducción en biología —puesto que lo comentado en las líneas anteriores no merece ni siquiera calificarse de escueto resumen—, remito al lector a las referencias bibliográficas.

Hay que reconocer que el significado crucial que ha tenido el descubrimiento del vínculo entre el tiempo y el orden biológico no ha supuesto, sin embargo, la clausura de aquellas otras estrategias teóricas que favorecían el valor de la organización espacial o del orden irreductible de la forma orgánica. La biología estructural es hoy un ámbito de investigación imprescindible para el progreso de la genética molecular, a la vez que la morfología evolucionista o la morfología del desarrollo obligan a reconsiderar tesis sobre la filogenia y la ontogenia tenidas por incuestionables hasta no hace mucho tiempo. La física y la química cuánticas nos proveen del nivel más elemental para una explicación de las funciones desempeñadas por las moléculas biológicas —explicación que depende de la disposición espacial, de la distribución geométrica de sus grupos atómicos. Aun así, se trata de una organización topológica generada en el tiempo, conquistada en el tiempo, en el devenir de la evolución molecular. Por su parte, la genética es insustituible a la hora de entender el origen de las especies, según quedaba recogido en el título de la clásica obra

de Dobzhansky (1937), pero las modernas contribuciones de la morfología teórica, de la morfología funcional o de la morfología evolutiva brindan hallazgos complementarios que es imprescindible preservar. Por último, la forma molecular y la forma orgánica, además de manifestarse en el tiempo de la evolución, nos muestran su dependencia de la incesante actividad bioquímica o fisiológica que las hace posibles. Por lo tanto, sin olvidar la dimensión preeminente de la temporalidad en la gestación del orden biológico, habría que decir, en síntesis, que nuestro conocimiento de los seres vivos se nutre en la actualidad de ensayos programáticos complementarios, cuyas aportaciones particulares resultan irreemplazables.

Cuando atendemos a las hipótesis sobre el origen de la vida, la situación que encontramos es análoga. El repertorio de conjeturas consideradas ha terminado polarizándose hacia dos modelos principales: el *replication first model* —hipótesis del mundo del ARN—, y el *metabolism first model* —hipótesis del mundo del hierro y el sulfuro—. El primer modelo supone que la vida comenzó al aparecer una molécula capaz de autorreplicarse. Puesto que la replicación del ADN exige la presencia de proteínas que hagan de catalizadores, y dado que las *ribozimas* —moléculas de ARN con propiedades enzimáticas —incorporan ya esa capacidad catalítica, se sugiere que la vida podría haber surgido a partir de este específico ARN. El segundo modelo —*primero el metabolismo*— postula la aparición de ciclos químicos autocatalíticos capaces de sortear el equilibrio termodinámico; estadio que habría permitido después la replicación6. Las dos hipótesis quedan proyectadas sobre la historia remota de la Tierra, esto es, descansan en la eficacia del tiempo como generador de *protoactividades* y *protosistemas* biológicos, pero, además, reproducen igualmente el recurso al cometido superior desempañado bien por la *estructura* —configuración tridimensional del replicador, de las ribozimas—, bien por la *actividad* química —reacciones metabólicas primarias en el caso del mundo del hierro y del sulfuro—7. El itinerario desde tales estadios prebióticos al momento en el que llegó a existir el primer ser vivo es probable que trajera consigo la

conjunción de las exigencias recogidas en los dos modelos, es decir, habría supuesto procesos de replicación conectados con redes metabólicas de mayor complejidad y eficacia que las que pudo haber incorporado el mundo del ARN. La celularización fue después una fase capital para consolidar la arquitectura de las entidades vivas —pocos microbiólogos piensan que los virus merezcan este nombre—. En todo caso, la capacidad de reproducir la propia forma orgánica en la descendencia resulta ser un hecho biológico con una dimensión doble: vale como elemento definidor de los organismos, pero, al permitir el error, abre la posibilidad de una innovación morfológica, funcional y ecológica distendida en el tiempo. Sin embargo, lo que ahora importa es que la novedad en la descendencia, la *descendencia con modificación* —como gustaba decir Darwin— ofrece la materia prima de que se nutre la filogénesis. También Monod consagró dicho fenómeno como núcleo generador de la evolución (Monod, 1970). Debemos centrarnos a partir de aquí en el hecho, en la realidad del proceso evolutivo, y en sus causas. Y, al hilo de este propósito, abordaremos tres cuestiones: la doble vertiente —fisiológica y evolutiva— de la biología, su virtual autonomía teórica y las extensiones de la teoría de la evolución (Sober, 1993).

En la historia del transformismo biológico tiene un lugar merecido el sorprendente relato zoogónico de Empédocles (siglo V a.C.). Filósofo y médico griego, supuso que las diferentes formas animales nacen a partir de combinaciones azarosas por ensayo y error, resultando ser la bioorganización un proceso ciego en el que solo se conservan las combinaciones materiales fortuitas que satisfacen su mutuo requerimiento (Diels; Kranz, 1968-1969: 31 B 61). Si nos situamos en el contexto científico de los trescientos últimos años, las primeras anticipaciones de un transformismo maduro surgen en la segunda mitad del siglo XVIII. Aparecen en las obras de De Maillet, Maupertuis, Linneo[8], Diderot, el conde de Buffon, Erasmus Darwin[9] o Robinet. Para superar tales anticipaciones y situarnos ante una doctrina sistemática de la transformación, hemos de acudir a las ideas de Jean-Baptiste de Monet, caballero de Lamarck. En sus

dos obras más importantes —*Philosophie zoologique* (1809) e *Histoire naturelle des animaux sans vertèbres* (1815-1822)— Lamarck desarrolla una imagen de la evolución regida por la capacidad de la materia viva para aumentar por sí sola la complejidad de los organismos; por la relación entre las necesidades a que se ven sometidos estos y la formación de nuevas estructuras anatómicas a través de movimientos que satisfacen tales necesidades; por el fortalecimiento y la atrofia de los órganos debidos al uso y el desuso y, finalmente, por la heredabilidad de los caracteres adquiridos[10]. Es un cuadro explicativo que confía en la transformación *gradual* de las especies, que acude en ciertas ocasiones a la teleología (González Recio, 2004: 215-226), que autoriza un destacable optimismo adaptacionista y que define una línea filogenética continua, siempre renovada, con pocas ramificaciones y con una drástica separación entre los reinos vegetal y animal.

Darwin pasó en su juventud por una etapa lamarckiana y conservó en *El origen de las especies* (1859) algunos principios respaldados por el naturalista francés —las consecuencias del uso y desuso de los órganos y la heredabilidad de los caracteres adquiridos, que el posterior neodarwinismo abandonará[11]. No obstante, la teoría de la selección natural da paso a un paisaje científico nunca antes concebido, que continúa siendo el eje vertebrador de la biología contemporánea, incluso para aquellas posiciones que pretenden matizarlo, complementarlo, revisarlo o rebatirlo. El texto de Darwin concreta —en ocasiones, de manera precisa; en otras, de modo esquemático— direcciones que la investigación biológica ha tenido que seguir después. Además de promover un concepto de adaptación que rompe los lazos con la teleología, el argumento del diseño y la hipótesis de las creaciones especiales defendida por los discípulos de Georges Cuvier, la obra señala al individuo como centro de la selección natural, se ocupa de la selección sexual, ratifica para la filogénesis el gradualismo que Charles Lyell ha llevado a la geología y se detiene en la importancia de la embriogénesis para la variabilidad morfológica. Asimismo, reflexiona sobre la interpretación que hay que dar a la existencia de castas estériles

en los insectos sociales, describe la complejidad de las relaciones entre los seres vivos —adentrándose en cuestiones ecológicas—, aborda problemas de anatomía comparada, da un nuevo sentido a la taxonomía, reconoce la ausencia de variedades de transición en el registro fósil y acepta que no existe en aquellos días un conocimiento sobre la herencia mínimamente aceptable. El impacto del transformismo darwiniano tuvo una inmensa irradiación cultural, pero, como es fácil de entender, sacudió con especial fuerza a las ciencias de la vida12. Antes de que acabara el siglo, vio reconducidos algunos de sus rasgos originales —August Weismann establece la necesaria distinción entre el plasma germinal y el somatoplasma, para negar la herencia de los caracteres adquiridos, y Ernst Haeckel da mayor protagonismo a la anatomía y la embriología—, pero el enfoque central de la teoría de Darwin permaneció intacto. De hecho, cuando la *nueva síntesis* se afiance en los años treinta y cuarenta del siglo XX13, intentará dar respuesta a las cuestiones no resueltas por Darwin que acabo de señalar: cuestiones sobre la herencia de la variación, sobre el concepto de especie y sobre enigmas paleontológicos, inscritas todas en la asunción básica de una transición evolutiva por selección natural. Desde entonces hasta hoy, esta síntesis moderna marcará la dirección del evolucionismo ortodoxo. Tal hecho no ha impedido, con todo, que partiendo de muy diversas ópticas sufra importantes impugnaciones o contestaciones parciales. Dentro de ellas cabría citar al neutralismo de Motoo Kimura, con su énfasis en la relevancia de la deriva genética como complemento de la selección natural (Kimura, 1983), o a la teoría del equilibrio puntuado, propuesta por Eldredge y Gould (1972), en la que se defiende la no uniformidad del cambo evolutivo, que estaría sometido a largas fases de *estasis* y a períodos breves de renovación genética y especiación14. Es destacable, igualmente, la teoría simbiogenética de Lynn Margulis (1970), quien propugna la formación de las células eucariotas a partir de células procariotas mediante procesos simbióticos, y se aparta de la teoría sintética para convertir a los organismos en los verdaderos motores de la evolución frente a los genes. El amplio

dominio de la biología evolutiva del desarrollo —*evo-devo*— aporta claves no menos originales para entender la transformación, gracias a las que se ha hecho manifiesto el nexo entre los cambios en el desarrollo y la novedad evolutiva (Gould, 1977; Riedl, 1978)15. La realidad de la transferencia horizontal de genes ha sido también un hallazgo muy notable: genes que el individuo no recibe a través de sus progenitores o ancestros sino desde otras especies —algo conocido en bacterias hace tiempo, pero que se ha confirmado, asimismo, en plantas y animales (Arnold et. al, 2008). Y, por añadir un ejemplo más —pero lejos de cualquier afán de exhaustividad—, cabe mencionar las experiencias sobre procesos epigenéticos: aquéllos en los que factores no genéticos condicionan la ontogenia e intervienen en la regulación de la herencia (García-Jiménez, 2012)16.

3. **AUTONOMÍA Y COLONIZACIÓN**

Al margen de la mayor o menor proximidad que cada programa de investigación mantenga respecto del darwinismo ortodoxo —incluso teniendo presentes aquellos que discuten la capitalidad de la selección natural en la filogenia—, lo cierto es que la realidad de la evolución, de un orden biológico dependiente del tiempo, se impone como el hecho de mayor alcance en nuestra actual concepción de la vida. Durante miles de años, los fenómenos vinculados a los seres vivos se subsumieron en dos grandes apartados: los que estudiaba la anatomía o la fisiología y los analizados por la historia natural. Es una división que aún mantenemos porque, en efecto, la biología incorpora ramas de conocimiento que investigan lo que Ernst Mayr califica de causas *próximas* —biología fisiológica—, pero quedando esta subordinada a la biología evolutiva, dirigida a la consideración de las causas últimas. Lo que entiende por uno y otro tipo de causas cree poder explicarlo con un ejemplo del todo revelador. ¿Qué hace a cierto individuo de una especie de aves *A* de Norteamérica iniciar su migración la noche del veinticinco de agosto? Las causas próximas son que el ave —perteneciente a una especie migratoria—, respondiendo a la fotoperiodicidad, está fisiológicamente preparada esa noche para emigrar, debido al número de horas de luz que se dan y a

las condiciones climáticas que concurren —viento, temperatura, presión atmosférica…—. Sin embargo, un individuo cualquiera de otra especie de aves *B*, que vive en el mismo lugar y que, por consiguiente, está expuesto a la misma fotoperiodicidad y las mismas condiciones atmosféricas, nunca abandonará ese medio biogeográfico. Obviamente, entonces tiene que darse un segundo conjunto de causas que explique la diferencia de hábitos entre las especies migratorias y las sedentarias. Tal diferencia reside en un genotipo adquirido durante miles de años a través de la evolución. Ambas biologías, no obstante su profunda proximidad, quedan orientadas, así, hacia dimensiones bien definidas de los seres vivos. Los organismos, en contraste con los seres inanimados, obedecen a dos conjuntos de causas, debido a que poseen un programa genético. Las causas próximas tienen que ver con la aplicación del programa; las causas evolutivas provienen de los cambios en la dotación genética y en las razones de estos cambios. El biólogo funcional puede practicar un método análogo al que utilizan el físico o el químico, pero no es menos cierto que ninguna estructura presente en cualquier organismo llega a ser entendida a menos que se estudie en el marco de su propia historia evolutiva. Encontrar las causas de los caracteres existentes y de las adaptaciones particulares es la preocupación principal del biólogo evolutivo17, que intenta comprender la inacabable diversidad biológica y el camino que ha llevado a ella (Mayr, 1982: 67-71).

Los modelos matemáticos del cambio genético con que se empezó a trabajar en la teoría sintética fueron criticados por Mayr, quien entendió que los genes no pueden actuar aislados unos de otros, esto es: la correcta formalización estadística de la dinámica poblacional exigía concebir a los genes no tanto como *solistas* sino como miembros de una *orquesta sinfónica*. Lo favorecido por la selección son ciertas combinaciones de genes (Stebbins, 1974: 134). La esquematización simple y, lo que es más importante, los ensayos reduccionistas en biología —provengan del análisis matemático o del reduccionismo físico-químico— desatienden aspectos esenciales del mundo vivo. La

organización que define a los sistemas naturales dotados de vida resulta inabordable para las teorías físico-químicas, si estas no se ponen al servicio de perspectivas en las que el papel crucial lo juegan nociones propiamente biológicas, ausentes de la física y de la química. La biología es autónoma y única en cuanto ciencia porque los seres vivos son seres únicos también. Partiendo de este antirreduccionismo ontológico, Mayr amplía después su visión autonomista de la biología a los planos metodológico y epistemológico18. En verdad, si aceptamos la demarcación establecida por Rosenberg (1985: 13-36) entre el provincialismo y el autonomismo, se debe reconocer que los partidarios del segundo no han dejado de aumentar. La biología no es una provincia de la física o la química sino un reino autónomo —lo que no le impide mantener sólidas relaciones con otros reinos de la ciencia—. Su autonomía obedece, entre otras razones, a la función que en ella desempeña el pensamiento poblacional frente a lo que ocurre en otras ramas de la ciencia. Las poblaciones biológicas están formadas por individuos únicos y en ellas los datos promedio carecen de interés. Si manifiestan algo relevante es su variación actual, la cantidad de esta y su origen. Nos hallamos muy lejos, pues, de la aplicabilidad de la lógica de clases, que se había tomado como estructura lógica inevitable para toda la ciencia natural. En suma, la biología necesita el comercio conceptual con la física y la química, pero se enfrenta a un ámbito de objetos y fenómenos que solo puede explicar estableciendo categorías exclusivamente biológicas. Es en este sentido en el que defiende su autonomía e incluso sus colonias19.

Así cabe entenderlo porque, en la segunda mitad del siglo XX, algunas regiones de las ciencias de la vida comenzaron a poner en marcha un proyecto colonialista. No se buscaba ya reafirmar derechos de autonomía teórica; se intentaba llevar las consecuencias de la biología evolutiva hasta dominios de los que siempre había estado ausente. Formaron parte de esas prolongaciones del evolucionismo la sociobiología, la biología de las instituciones culturales, pero, sobre todo, la biología del conocimiento, que resultó ser el producto más refinado de

aquellas expansiones de la teoría de la evolución. Entraba la biología, con ello, en las esferas de la vida social, de la vida moral y de la vida teorética, a las que aludí al comienzo de estas páginas. Wilson promovió otra nueva síntesis que debía entregar a los biólogos la investigación de creaciones socioculturales o pautas de conducta que hasta entonces solo formaban parte del quehacer habitual de los sociólogos, psicólogos y filósofos —el comportamiento que acompaña a la paternidad, el altruismo, la agresividad humana, las raíces de la moral… (Wilson, 1975)—. Riedl planteó de manera decidida y meticulosa la pregunta por los fundamentos filogenéticos de la razón, haciendo llegar el naturalismo a la epistemología (Riedl, 1984)[20]. Y, por reseñar otro caso más, Damasio quiso escrutar las bases neurológicas de las emociones, la memoria, el lenguaje y hasta el ejercicio de la actividad filosófica, al plantearse las relaciones entre neurobiología y filosofía (Damasio, 1994; 1999; 2003). Esta predisposición colonialista común queda bien compendiada en unas pocas líneas de la *Sociobiología* de Wilson: «Debe hacerse hincapié en esta simple afirmación biológica —la de que el biólogo sabe que su propio conocimiento está regido y condicionado por los centros de control emocionales situados en el hipotálamo y en el sistema límbico del cerebro— para entender no solo la ética y a los que la estudian, sino también la epistemología y a los epistemólogos» (Wilson, 1975: 3). Partíamos del vitalismo de Ortega al iniciar el capítulo y hemos llegado ahora al biologicismo de Wilson. El biólogo evocado por Ortega se topaba con la biología como un aspecto circunstancial —puede que incluso epidérmico— de su vivir, de su vida más propia. El biólogo imaginado por Wilson halla diluidas cada una de las dimensiones de su vida más personal e íntima en una dinámica fisiológica fruto de la evolución. ¿A cuál de los dos deberíamos escuchar para conocernos mejor, para saber quiénes somos? Percibiremos, si intentamos escoger, que nos encontramos ante una elección extrema y compleja. Tenemos delante un asunto que con esta u otras formulaciones ha ocupado durante siglos a la filosofía de Occidente[21]. Hay optimismo en ambos biólogos, porque el que Wilson nos

presenta confía en la capacidad de una estructura resultante de la evolución —el cerebro humano— para conocerse a sí misma; al tiempo que el biólogo aludido —y guiado— por Ortega acabaría reconociendo que posee un acceso de privilegio nada menos que a la realidad radical: a su forma metafísica de ser como hombre. Quizá estemos frente a dos vías de pensamiento que han de correr paralelas y que no podemos sino conservar, si bien el hecho de su doble existencia y el carácter de las aporías que comporta apelan sin duda a la reflexión filosófica.

1 Fibra muscular, en el caso de los músculos y tendones; fibra *membranosa*, en las restantes partes del cuerpo.

2 La naturaleza última de la materia —también de la que compone los seres vivos— es la extensión. Los movimientos naturales —entre ellos los fisiológicos— son desplazamientos locales en el espacio euclídeo. La geometría reclamó para sí, en consecuencia, tanto el estudio de la forma anatómica como el de la actividad fisiológica.

3 Descartes lo expresó con palabras rotundas en los *Principes de la philosophie*: «Je ne reconnais aucune différence entre les machines que font les artisans et les divers corps que la Nature seule compose... car, par exemple, lorsqu'une montre marque les heures par le moyen des roues dont elle est faite, cela ne lui est pas moins naturel qu'il est à un arbre de porter des fruits» (Descartes, 1996: 321-322).

4 Cambio que no alcanza la especiación.

5 El debate entre instrumentalistas y realistas ha cobrado cierta pujanza en la reciente filosofía de la biología. No es este el lugar para tomar partido, pero sí me parece justo decir que el instrumentalismo en estos dominios requiere, paradójicamente, alguna clase de compromiso con el realismo, dada su dependencia de la biología evolutiva —entendida como relato que nos da una descripción certera y fiable de lo ocurrido en la historia de la vida. Son de gran interés en este ámbito de cuestiones las obras de Rosenberg, 1994 y de Diéguez, 2011.

6 Wächtershäuser y Huber consiguen en 1997 sintetizar péptidos partiendo de aminoácidos, sulfuros de hierro y níquel y empleando selenio como catalizador. Lo logran reproduciendo

en el laboratorio las condiciones de las fuentes hidrotermales submarinas (Huber; Wächtershäuser, 1997).

7 Los estudios sobre el origen de la vida han dado lugar a un amplio conjunto de proyectos explicativos, donde están incluidas desde las teorías de Oparin y Haldane, hasta la idea de exogénesis, pasando por la teoría de la arcilla, la del mundo de los lípidos o la hipótesis de la burbuja (Smith; Szathmáry, 2000).

8 Linneo llegó a creer al final de su vida en la posibilidad de que la hibridación diese lugar al nacimiento de nuevas especies.

9 Abuelo de Charles Darwin.

10 Las dos primeras tesis aparecen en la *Histoire naturelle des animaux sans vertèbres*; la tercera y la cuarta figuraban ya en la *Philosophie zoologique*.

11 En realidad, formaban parte del conocimiento tácito de los granjeros y criadores. Tanto Lamarck como Darwin son deudores de él.

12 Es obligado repartir el mérito que habitualmente concedemos a los trabajos Darwin con el que poseen los de su compatriota Alfred Russel Wallace. Sobre esta deuda histórica, véase González Recio, 2010.

13 Impulsada por Dobzhansky, Mayr y Simpson, con el concurso de la genética de poblaciones, de una taxonomía reformada y de importantes conquistas de la paleontología.

14 Modelo capaz de justificar los vacíos en el registro fósil que desafían al gradualismo y que tanto preocuparon a Darwin.

15 Dentro de esta línea de investigación, cabe nombrar, asimismo, a otros científicos como Pere Alberch, Stuart Newman, Rudolf Raff o Thomas Kaufman. Véase Amundson, 2005.

16 Conrad Hal Waddington fue el animador más destacado de este tipo de estudios en el pasado siglo.

17 Empleo el término «evolutivo» puesto que tanto él como los fisiólogos aceptan la teoría de la evolución y son, pues, biólogos evolucionistas.

18 En 2004 publica *What makes biology unique? Considerations on the Autonomy of a Scientific Discipline.* Véase la bibliografía final.

19 Al provincialismo y el autonomismo definidos por Rosenberg, añadí hace algún tiempo la idea de *colonialismo*, como meta que caracteriza a numerosas orientaciones de la biología contemporánea (González Recio, 2009).

20 Debo citar también en este momento dos obras de Carlos Castrodeza, querido compañero fallecido con el que mantuve estimulantes conversaciones y compartí tareas académicas durante años: Castrodeza, 1999; 2009.

21 La discusión gnoseológica entre quienes están cerca del objetivismo materialista y los que conceden un carácter fundamental al mundo inmediato de la subjetividad.

IX. **Universo**

Francisco José Soler Gil
Universidad de Sevilla

1. INTRODUCCIÓN: LA MÁS FILOSÓFICA DE TODAS LAS CIENCIAS

La cosmología es la rama de la física que se propone describir la estructura y la dinámica a gran escala de la naturaleza, considerando esta como un todo físico. El filósofo Karl Popper se refirió en una ocasión a la cosmología como «la más filosófica de todas las ciencias» (Popper 1994: 59). Y este dictamen resulta bastante verosímil, pero, para comprender por qué, conviene comparar la situación de la cosmología con la de las otras ciencias naturales.

En la base de todas las ciencias de la naturaleza subyacen al menos tres presupuestos filosóficos fundamentales:

(1) El primero de ellos, es el postulado de la racionalidad del mundo (o al menos la racionalidad de su objeto de estudio, si queremos formularlo de un modo más débil).

(2) El segundo es el postulado de que la mente humana está capacitada para descubrir esa racionalidad del mundo (o al menos del objeto de estudio de la ciencia de que se trate).

(3) Y el tercer postulado filosófico es que existe un método adecuado para descubrir dicha estructura racional de la naturaleza, que es el método científico, en sus diversas variantes.

Ahora bien, más allá de este roce ineludible, lo cierto es que el contacto de la filosofía es mayor con unas ciencias que con otras. Y no sería demasiado injusto afirmar que la física constituye, en líneas generales, la rama de las ciencias naturales más estrechamente ligada a consideraciones filosóficas. Se pueden apuntar varios motivos que justifican tal afirmación, pero basten estos dos:

En primer lugar, la física no solo postula la racionalidad de su objeto, sino que asume de entrada que dicha racionalidad se expresa en leyes y regularidades descriptibles por medio del

lenguaje matemático. Este postulado inicial sitúa a la física en la vecindad del pensamiento de las escuelas pitagórica y platónica, y da pie a toda una serie de preguntas acerca de la relación entre las matemáticas y la materia, y acerca también de los medios matemáticos aceptables en física, o que cabe esperar que respondan al modo de ser de la naturaleza etc.

En segundo lugar, mientras que las demás ciencias suelen apoyar sus investigaciones en un marco dado por ciencias más básicas desde el punto de vista de la escala de la composición material (y así, por ejemplo, la biología celular se apoya en la bioquímica; la bioquímica a su vez en la química inorgánica; y esta en la física atómica), la física ya no cuenta con otra ciencia más básica en la que apoyarse. De ahí que sus consideraciones iniciales tengan que ser postulados y opciones de naturaleza puramente filosófica1.

Ahora bien, si la física, por ser una ciencia fronteriza, se encuentran frecuentemente con la filosofía, este encuentro resulta más intenso precisamente en las ramas más fronterizas. ¿Y cuáles son dichas fronteras? Ante todo estas tres: la frontera de lo más pequeño (física de partículas), la de lo más grande (cosmología), y la de las leyes más fundamentales (actualmente la teoría general de la relatividad y la física cuántica).

Situada ya entre aquellas especialidades de la física en las que con mayor frecuencia los argumentos y reflexiones entran de lleno en el ámbito de la filosofía, las peculiaridades del objeto de estudio de la cosmología obligan a esta ciencia a apoyarse más incluso que las otras en postulados, hipótesis y conjeturas no derivables por medio del método científico. Entre tales peculiaridades, que convierten a la cosmología en la más filosófica de todas las ciencias, destacan las dos siguientes: (1) El carácter único del universo nos impide distinguir con seguridad entre las leyes fundamentales de la naturaleza y otros rasgos no fundamentales que son simplemente el resultado de las condiciones particulares de contorno del universo.

Esta situación constituye un problema, sobre todo si nos planteamos la posibilidad de ofrecer una explicación física del propio origen del universo —lo que con cierta frecuencia se

intenta por medio de escenarios que dibujan otra unidad física mayor (alguna forma de multiverso), dentro de la cual nuestro universo no sería más que un dominio particular—. En semejante contexto, el estudio del origen de nuestro universo requeriría conocer las leyes fundamentales de la física de ese marco en el que se origina. Pero puesto que no podemos distinguir empíricamente qué aspectos de las leyes de la naturaleza que observamos son fundamentales, y qué aspectos son el resultado de las condiciones de contorno, no parece haber otra alternativa para empezar a explorar esa vía que una apuesta *a priori*, basada en algún tipo de consideraciones filosóficas (sobre el carácter cuántico de las leyes fundamentales, por ejemplo, o sobre el carácter aleatorio de las condiciones iniciales del universo, etc.)

(2) El estudio del universo como un todo nos sitúa ante un objeto que tal vez se extienda espacialmente mucho más allá del límite desde el que sea físicamente posible recibir información; y que tal vez se extienda temporalmente hacia el futuro a escalas de duración incomparablemente mayores que el tiempo transcurrido hasta ahora; y que muy posiblemente atravesó en el pasado por fases en las que las condiciones de temperatura y energía eran muchísimo mayores de las que podemos reproducir en laboratorio, o incluso muchísimo mayores de las que podemos observar actualmente en cualquier fenómeno astrofísico. Esto implica que la cosmología requiere las más arriesgadas extrapolaciones de toda la física, en el espacio, en el tiempo, y en la escala energética. Extrapolaciones relativas a la validez de la física conocida, al comportamiento esperado de la materia en condiciones energéticas no observables, etc. Como en el punto anterior, se hace preciso recurrir a argumentos filosóficos como único fundamento posible de cada una de tales extrapolaciones.

En definitiva, podemos decir que la cosmología constituye un dominio de la física que se encuentra en una relación especialmente estrecha con la filosofía. Esta relación presenta diversas facetas2, pero no todas ellas caen dentro de lo que solemos denominar filosofía de la naturaleza, sino que algunas

corresponden más bien al ámbito de la filosofía de la ciencia, y por eso no las discutiremos en las páginas que siguen.

Ciertamente, la distinción entre el campo de la filosofía de la ciencia y el de la filosofía de la naturaleza no es tan nítida como a primera vista podría parecer. No lo es en general, y mucho menos cuando se trata de asuntos cosmológicos. Sin embargo, en una primera aproximación, podemos decir que la filosofía de la ciencia tiene por objeto las distintas disciplinas científicas en tanto que actividad racional. Y se ocupa por tanto de la dinámica de sus teorías con una cierta abstracción por lo que se refiere a la imagen del mundo que de ellas se podría derivar. Es decir, se ocupa preferentemente de la relación general entre teorías y modelos; entre modelos y fenómenos, y entre fenómenos y datos empíricos. El teórico de la ciencia intenta entender cómo determinadas teorías llegan a ser consideradas como estándar en una disciplina; cómo funcionan los procesos de confirmación y refutación; hasta qué punto podemos decir que las teorías constituyen representaciones de la realidad y no meras herramientas de cálculo sin significado ontológico, etc.

En cambio, y siguiendo en esta primera aproximación, el filósofo de la naturaleza centra su interés en lo que las teorías más aceptadas del momento nos dicen sobre el mundo, y trata de incorporar estas indicaciones a su propia reflexión sobre el modo de ser de la naturaleza, y los conceptos que mejor nos permiten entenderla.

Aplicando estas ideas al caso de la cosmología, hay temas filosóficos como por ejemplo el debate en torno a la cientificidad de la cosmología física, o la disputa entre las interpretaciones realistas e instrumentalistas de los modelos cosmológicos, o las discusiones en torno al uso en cosmología de reglas metodológicas tales como la «navaja de Occam», que caen más bien en el área de la filosofía de la ciencia. De ahí que, pese a su gran interés, sea mejor dejarlas de lado en un texto como este, que tiene unos límites de extensión muy estrictos.

Si nos restringimos, pues, a tratar las cuestiones más directamente ligadas con la filosofía de la naturaleza, tenemos que distinguir dos tipos de temas: Por un lado hay supuestos

generales sobre el modo de ser del mundo que juegan un papel, como postulados, en la elaboración de los modelos cosmológicos. Y, por otro lado, de dichos modelos pueden seguirse también consecuencias para nuestra cosmovisión. Dicho de otro modo: La interacción entre la filosofía de la naturaleza y la cosmología se da en las dos direcciones.

En consecuencia, lo oportuno será dividir el resto de este capítulo en dos apartados: En el primero de ellos (apartado 2) repasaremos algunas ideas filosóficas sobre el carácter de la naturaleza que son incorporadas en el proceso de elaboración de los modelos de la cosmología física actual. Y en el segundo de ellos (apartado 3) nos ocuparemos, con toda brevedad, de indicar algunas posibles consecuencias para la filosofía de la naturaleza de los escenarios cosmológicos que se discuten en la actualidad.

2. DE LA FILOSOFÍA DE LA NATURALEZA A LA COSMOLOGÍA

Consideremos, en primer lugar, algunas de las ideas propias de la filosofía de la naturaleza que ejercen, o han ejercido, una influencia sobre las reflexiones de la cosmología física. Intentar discutir todas las ideas de este tipo haría saltar por los aires el marco del presente capítulo. Pero cabe esbozar al menos un par de ejemplos, que nos permitirán entender hasta cierto punto qué tipo de reflexiones filosóficas acerca de la forma de ser de la naturaleza nutren la cosmología. Esbozaré cinco ejemplos en los subapartados siguientes: el postulado del carácter de objeto físico del universo; el postulado de la simplicidad estructural del cosmos; el principio copernicano; las reflexiones sobre el papel de los infinitos en la cosmología; y las ideas sobre la estaticidad del universo.

2.1. El universo como objeto físico

Como ocurre con todas las ciencias, también la cosmología parte de suponer que tiene ante sí un objeto de estudio racional y comprensible para la mente humana. Ahora bien, este supuesto, en el caso de la cosmología, posee bastante más carga filosófica que en las otras ciencias. Y la razón es la siguiente. El bioquímico que investiga la membrana de una célula, el

astrofísico que estudia la dinámica del Sol, o el cristalógrafo que analiza la estructura de un determinado mineral, tienen claramente ante sí un objeto de estudio. Ya sea el Sol, la célula, el cristal, o cualquier otro. De manera que su apuesta filosófica es por la racionalidad y comprensibilidad de la entidad que tienen a la vista.

Sin embargo, aunque observamos estrellas, galaxias y cúmulos de galaxias, nada nos obliga *a priori* a pensar que existe algo así como un todo de la naturaleza. En principio, cabría también sostener, usando la feliz expresión de Pessoa, que «la naturaleza son partes sin un todo». Dicho en otros términos, el objeto de la cosmología no es manifiesto, sino que se postula como una apuesta filosófica por una visión muy particular de la naturaleza: la naturaleza como un todo ordenado y estructurado, un «cosmos».

En la actualidad, estamos tan habituados a leer y escuchar noticias sobre el modelo del *big bang*, la inflación cósmica, las distintas hipótesis del multiverso, la cosmología cuántica etc., que corremos el riesgo de pensar que esta consideración de la naturaleza como un cosmos constituye una pura obviedad. Pero no lo es, ni mucho menos. En realidad, la posibilidad de concebir la naturaleza como un todo —un universo, o cosmos—, y por tanto la posibilidad de hacer cosmología, ha sido varias veces afirmada y varias veces rechazada (o al menos matizada) en la historia de nuestra civilización. En otras palabras: La cosmología ha tenido una existencia intermitente, siendo considerada en algunas épocas como un saber muy importante, y en otras como una actividad especulativa marginal, poco recomendable para el hombre que busca en serio el conocimiento. De manera que, cuando los físicos de nuestro tiempo se esfuerzan por ofrecer un modelo global del universo, consciente o inconscientemente están asumiendo una determinada opción procedente de las reflexiones de la filosofía de la naturaleza.

Por lo demás, en este punto conviene recordar la advertencia realizada en el apartado anterior, al tratar de distinguir entre temas filosóficos de la cosmología que podemos considerar

propios del ámbito de la filosofía de la naturaleza de aquellos otros que más bien corresponden a la filosofía de la ciencia, de que la distinción no es tan nítida como a primera vista podría parecer. Pues la reflexión sobre el objeto de la cosmología posee también una vertiente que es tratada por esta última disciplina, debido a que hay críticos de la cientificidad de la cosmología, que rechazan por principio esta disciplina apoyados en la tesis de que el universo no es un objeto de la experiencia. El argumento de estos críticos es sencillo: No hay objeto, luego no hay ciencia.

No podemos entrar aquí en los detalles de esa vertiente del debate. Baste simplemente con apuntar que no parece necesario (ni quizás tampoco conveniente) decidir de entrada, mediante el empleo de argumentos *a priori*, si podemos considerar o no el universo como un «objeto empírico», y por tanto si se puede o no hacer cosmología. Desde luego, hay que conceder que la consideración de la cosmología —entendida como investigación del universo— como una rama de la física requiere el postulado del universo como un objeto físico. Pero de esta ligadura pueden extraerse consecuencias en las dos direcciones. Es decir, que también cabe argumentar *a contrario sensu* que la decisión de si se debe considerar o no el universo como un objeto dependerá de si la cosmología tiene éxito. La cosmología física parte de una serie de datos tales como la oscuridad del cielo nocturno, el corrimiento al rojo de las galaxias —que parece aumentar de forma proporcional a su distancia—, la radiación cósmica de fondo, la densidad de radiofuentes a diversas distancias, la abundancia de helio y deuterio en el universo etc. Que dichos datos puedan entenderse como experiencias de un objeto —el universo— dependerá de si logramos elaborar un modelo de tal entidad que esté libre de antinomias, que dé cuenta de los datos, y que nos permita predecir con éxito otros nuevos. En la medida en que la cosmología física actual sea capaz de proponer modelos cosmológicos así, el rechazo *a priori* de la concepción del universo como un objeto de experiencia resultará implausible. Nos encontramos aquí, por tanto, ante un caso de influencia en las dos direcciones: Ideas provenientes de la

filosofía de la naturaleza pueden incitar a la elaboración de modelos cosmológicos. Y los eventuales éxitos de estos modelos pueden contribuir, a su vez, a reforzar la idea filosófica de cosmos, que los hizo posibles.

2.2. **La simplicidad estructural del cosmos**

En los modelos de la cosmología física actual, y muy en especial en el actual modelo cosmológico estándar no solamente se asume que la naturaleza puede ser concebida como un todo ordenado, sino que este todo se caracteriza por poseer, a gran escala, una muy notable simplicidad estructural. De hecho, la mayor simplicidad estructural: la homogeneidad.

Esta idea es recogida en un enunciado que usualmente se conoce como «principio cosmológico». El «principio cosmológico» afirma que, si lo contemplamos a una escala lo suficientemente grande, el universo es espacialmente homogéneo e isótropo. Evidentemente, el universo no es homogéneo en cualquier orden de longitud que consideremos, pues, desde las partículas de polvo interestelar hasta los supercúmulos de galaxias, todo son inhomogeneidades. Pero la idea es que, si dividiéramos el espacio en cubos de tamaño suficiente, todos ellos contendrían aproximadamente lo mismo.

¿Cómo de grandes habrían de ser esos cubos? En la actualidad los astrofísicos tienden a considerar que el universo posee estos rasgos si lo consideramos en porciones del orden de los 100 Mpc o más3.

En el subapartado anterior se hacía notar que la idea de que la naturaleza hay que concebirla como un cosmos no es evidente de suyo, sino que implica una determinada elección filosófica. Pues bien, conviene tener en cuenta que lo mismo puede decirse por lo que se refiere al principio cosmológico. Aceptarlo es una opción filosófica, pero no puede demostrarse empíricamente. Lo que sí es cierto es que dicho principio se ajusta muy bien al aspecto que presenta, a gran escala, el universo observable. Es decir, la parte del universo de la que podemos recibir alguna información, cuando la consideramos en grandes bloques, es aproximadamente homogénea e isótropa. Pero el problema, como tantas veces ocurre en cosmología, aparece cuando

intentamos justificar una extrapolación de estos resultados a regiones que van mucho más allá de los límites de lo que puede ser observado. Los diversos intentos de hacerlo fracasan de un modo u otro (Beisbart, 2009). ¿Por qué prefieren, pues, los cosmólogos adoptar el principio cosmológico a otros alternativos, como podría ser por ejemplo la idea de un universo jerárquico4? Un análisis de los motivos de esta preferencia nos mostraría que en ella confluyen tres tipos de reflexiones: Por una parte tenemos el hecho empírico de que, por lo que se refiere al universo observable, considerado a gran escala, el principio cosmológico funciona; por otra parte intervienen reflexiones metodológicas (propias del ámbito de la filosofía de la ciencia) que nos invitan a empezar postulando las hipótesis más sencillas posibles, o aquellas que requieran el mínimo de elementos inobservados; y finalmente influye una creencia muy extendida entre los físicos de que la naturaleza, a gran escala es máximamente simple. Este último elemento es una opción proveniente de la filosofía de la naturaleza, que ejerce (consciente o inconscientemente) de principio-guía a la hora de elaborar modelos cosmológicos.

2.3. **El principio copernicano**

El «principio copernicano» postula que nuestro lugar en el cosmos no es especial, sino que ocupamos una región que puede considerarse, tanto por su posición espaciotemporal como por su contenido material representativa de las características del universo en promedio. Pese al nombre de «copernicano», no fue Copérnico el que formuló este principio. Pero con la denominación se hace referencia al famoso episodio en el que la Tierra perdió su carácter de objeto singular, situado en el centro del cosmos, para convertirse en un planeta más, es decir, un lugar del Sistema Solar parecido a otros muchos.

Detrás del principio copernicano subyace una determinada visión de la naturaleza, según la cual todos los puntos de la misma son en lo esencial equivalentes. Es decir, el universo carecería de centros absolutos. Una vez más nos hallamos aquí ante una opción filosófica, que puede resultar verosímil, pero que, en sentido estricto, es indemostrable.

Esta opción filosófica influye decisivamente en la elaboración de los modelos cosmológicos actuales. Y es por eso que el presente modelo estándar se basa en la métrica de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker, o modelo FLRW, que es una solución particular de las ecuaciones de campo de la teoría general de la relatividad, aplicadas al universo. Pero conviene no olvidar que los datos astrofísicos, en principio, serían consistentes con una solución en la que el universo poseyera un centro, y nosotros nos halláramos cerca del mismo. De hecho, si no se sigue esta vía alternativa es, sobre todo, porque resulta filosóficamente poco atractiva. En palabras de Ellis:

> Si tomamos los datos del recuento de radiofuentes tal como nos aparecen, sin considerar una evolución de las fuentes, el dato contradice la geometría de RW.
>
> A la vista de esto, el procedimiento habitual consiste en asumir que conocemos la homogeneidad espacial por otras vías, y en deducir la evolución de las fuentes que se requiere para que las observaciones sean compatibles con el supuesto geométrico. Siempre es posible encontrar una evolución de las fuentes que logre esto [...] pero una interpretación alternativa sería suponer que los datos constituyen un indicio de la inhomogeneidad espacial, es decir, de que vivimos en un universo esférico espacialmente inhomogéneo, en el que estamos situados en algún lugar cercano al centro, de manera que el corrimiento al rojo cosmológico fuera en parte gravitacional [...] De manera similar, los datos de las supernovas que usualmente se entienden como implicando una constante cosmológica podrían ser interpretados también de este modo como una evidencia de la inhomogeneidad, sin necesidad de la «energía oscura». La mayor parte de la gente considera que estas propuestas son muy poco atractivas... Pero eso no prueba que sean incorrectas. (Ellis, 2006: § 4.2.2).

Este ejemplo puede bastar para que nos demos cuenta de

hasta qué punto las ideas filosóficas previas sobre el modo de ser de la naturaleza determinan una selección de las vías que se consideran plausibles a la hora de desarrollar modelos cosmológicos. Aunque no es el único ejemplo, ni mucho menos5.

2.4. **¿Aborrece la naturaleza el infinito?**

La aparición de infinitos es interpretada en la física con frecuencia como un indicio de que algo no funciona bien en los modelos que estamos empleando.

Parafraseando a Aristóteles numerosos físicos consideran que «la naturaleza aborrece el infinito»6. En la historia de la física se han dado numerosos casos en los que parecía imposible evitar los infinitos. Pero la mayor parte de ellos fueron más adelante removidos a raíz del desarrollo de nuevas y mejores teorías. De ahí que físicos de primera fila como Paul Dirac hayan defendido la tesis de que «el verdadero reto de la física es quitarse de enmedio los infinitos»7.

En el momento presente contamos con dos pilares fundamentales de la física: la teoría general de la relatividad y la teoría cuántica, que parecen ser incompatibles entre sí. Este hecho nos impide describir la situación física anterior al tiempo de Planck, ya que en ese estadio de la evolución del universo tendríamos que aplicar al mismo tiempo ambas teorías. Ahora bien, cada uno de estos pilares tiene un punto débil. A saber: Los dos predicen infinitos en determinadas condiciones. Los infinitos de la teoría de la relatividad son las llamadas «singularidades» (los agujeros negros y la Gran Explosión). Por su parte, los infinitos de la teoría cuántica son la energía del vacío y las cantidades que tienen que ser renormalizadas en la teoría cuántica de campos.

A la vista de las experiencias de la historia de la física, un gran número de físicos se inclinan hoy día a pensar que las dos teorías mencionadas no son más que aproximaciones de una tercera teoría que unificaría a ambas y eliminaría los infinitos. De hecho, el grado de eliminación de los infinitos se emplea para valorar las distintas propuestas que se están explorando actualmente en busca de ese nuevo marco físico. Y así, por

ejemplo, Francesca Vidotto resume, en un artículo que lleva el expresivo título de «Los infinitos como medida de nuestra ignorancia», la posición más común entre los físicos que trabajan actualmente en el campo de la gravedad cuántica, con las siguientes palabras:

> La física trata de la descripción cuantitativa del mundo que nos rodea. Los infinitos representan un límite para la física: Su aparición significa que no podemos atribuirle ningún número finito al sistema que estamos estudiando. Los infinitos suponen para los físicos las paradojas más fascinantes: Ellos apuntan hacia los viejos supuestos que tenemos que abandonar para, más allá de nuestras teorías presentes, alcanzar nuevos niveles de energía, espacio y tiempo. En este sentido, cada infinito y su superación constituyen el punto de inflexión hacia un nuevo paradigma (Vidotto, 2013).

Semejantes planteamientos son respaldados por otros muchos autores8, si bien, como es natural, no todos los físicos comparten dicha actitud de completo rechazo a la existencia de infinitos en la naturaleza.

En cualquier caso, estas conjeturas acerca del papel de los infinitos en las teorías físicas constituyen un nuevo ejemplo típico de las reflexiones procedentes de la filosofía de la naturaleza que tienen lugar en las fronteras de la física, y que pueden servir de puntos de orientación para el desarrollo de nuevas líneas de investigación. Pero resulta evidente que solo pueden ser consideradas como supuestos provisionales, y no como un conocimiento asentado.

Trasladando tales consideraciones al caso de la cosmología, hay autores que esperan que también en este campo los infinitos representen eventualmente una mera aparición provisional, que sea superada en una fase posterior del desarrollo de la disciplina. En particular, uno de los mayores alicientes para los físicos que trabajan en el desarrollo de modelos de la cosmología cuántica consiste en la posibilidad que perciben de

eliminar en esa nueva cosmología los infinitos de la singularidad inicial del modelo cosmológico estándar.

2.5. **La estaticidad del universo**

Las ideas que, provenientes de la filosofía de la naturaleza, influyen en las investigaciones de los físicos no solamente han ayudado a formular teorías cosmológicas, sino que a veces han dificultado el desarrollo de las ideas que en la actualidad se consideran correctas.

Un ejemplo de esto lo encontramos en la idea de que el universo debería ser una entidad esencialmente estática, es decir, invariante, no evolutiva, sin historia. Esta concepción estaba tan anclada en la mente de los físicos que impidió, por ejemplo, el desarrollo de una cosmología basada en la física de Newton. La obra de Newton había supuesto la culminación del esfuerzo por construir una nueva física, capaz de sustituir ventajosamente a la de Aristóteles. ¿Podía deducirse un modelo cosmológico de esa física? Sí, como han mostrado en el siglo XX Milne y McCrea[9]. Pero lo cierto es que Newton, después de estudiar con detenimiento este asunto, desistió de aplicar sus ecuaciones al universo como un todo. Y nadie más entre los estudiosos de la mecánica clásica trató de hacerlo durante los siglos XVIII y XIX. ¿Por qué? Porque tal cosmología no hubiera resultado compatible con el postulado de la eternidad e inmutabilidad del universo a gran escala.

Por el mismo motivo, cuando Einstein se decidió a intentar aplicar sus ecuaciones de campo de la teoría general de la relatividad al universo como un todo, caracterizó a este como un continuo espaciotemporal espacialmente finito (Einstein, 1917). Y lo hizo debido a que no encontraba ninguna solución cosmológica estática a las ecuaciones de la relatividad general con un universo infinito. Es decir, solo podía describir un universo estático postulando la finitud espacial (e introduciendo además una constante «cosmológica», no contenida inicialmente en su teoría de la gravitación). Y que el universo tenía que ser así era algo que en aquel momento ni se le podía ocurrir poner en duda.

En los años que siguieron, se fueron encontrando más y más

soluciones cosmológicas de las ecuaciones relativistas, con y sin finitud espacial. Pero, de todas ellas, tan solo dos –la propuesta por el propio Einstein, y el universo de De Sitter– cumplían ese requisito de estaticidad que parecía de entrada tan obvio (e incluso en estas soluciones la estaticidad descrita era altamente inestable, lo que le daba a ambos modelos un carácter poco plausible). De hecho el matemático y cosmólogo ruso Friedmann demostraría poco después —en un trabajo de 1922— que no existe ninguna otra solución de las ecuaciones cosmológicas relativistas que verifique dicho requisito. Y este resultado contribuyó a aumentar la duda de no pocos autores sobre si la teoría general de la relatividad era realmente aplicable a la tarea de proporcionar un modelo del universo. Pues, ¿acaso tenía sentido concebir el universo como algo no estático? ¿No resultaba a todas luces evidente que el universo, sea lo que sea, siempre es igual?

Así las cosas, no es fácil saber cuál hubiera sido el destino de las indagaciones cosmológicas relativistas, de no haber tenido lugar el descubrimiento, allá por los años 20 del pasado siglo, de la existencia de un corrimiento al rojo de las líneas espectrales de la luz procedente de las galaxias, que resulta proporcional a su distancia. Desde luego, lo menos que puede decirse es que el descubrimiento llegó justo a tiempo. Pues, aunque se discutieron diversas explicaciones del nuevo dato, pronto se vio que la interpretación más fácil consistía en tomar el corrimiento al rojo como resultado de que las galaxias se alejan unas de otras, con una velocidad mayor cuanto mayor es su distancia relativa. Es decir, que el universo se encuentra en un proceso de expansión… algo que Lemaître y Friedmann habían mostrado que era justo el tipo de movimiento a gran escala descrito por soluciones muy simples de las ecuaciones de campo de Einstein.

El hallazgo del corrimiento al rojo de las líneas espectrales de las galaxias logró que un número cada vez mayor de astrónomos comenzaran a interesarse por la posibilidad de hacer cosmología. Y no solo eso, sino que dio lugar a que se plantearan incluso, si bien a regañadientes, la posibilidad de que el universo no fuera, después de todo, esa entidad estática y en

esencia inmutable que habían estado suponiendo desde siempre.

3. DE LA COSMOLOGÍA A LA FILOSOFÍA DE LA NATURALEZA

En el apartado anterior hemos repasado varios ejemplos de ideas sobre el modo de ser de la naturaleza surgidas de una reflexión filosófica, con frecuencia anterior a la propia ciencia, y que influyen, o han influido, en el desarrollo de las investigaciones cosmológicas: la concepción de la naturaleza como un cosmos, la idea de la simplicidad del universo a gran escala; el supuesto de la igualdad esencial de los distintos puntos del espacio; las reflexiones sobre el papel de los infinitos en la naturaleza, así como sobre el carácter estático o evolutivo del cosmos.

Ahora bien, la interacción entre la filosofía de la naturaleza y la cosmología se produce también en la dirección contraria. Es decir, de los modelos cosmológicos se derivan nociones que influyen, o pueden influir, en las discusiones filosóficas sobre las características de la realidad natural. Vamos a ocuparnos de ellas en este apartado, si bien, como en el anterior, tendremos que limitarnos a considerar únicamente algunos ejemplos ilustrativos de los distintos tipos de impulsos que la filosofía de la naturaleza puede recibir desde la cosmología. En los próximos subapartados repasaremos varios de ellos: En primer lugar esbozaré las discusiones actuales en torno a las posibles lecturas del ajuste fino del universo; en segundo lugar haré referencia a un caso de extracción fallida de una consecuencia del escenario del universo infinito; en tercer lugar llamaré la atención sobre las reflexiones cosmológicas de la teología natural, como un caso, no de implicación, pero sí de consistencia entre los impulsos procedentes de la cosmología física y los procedentes de otras ramas de la filosofía lindantes con la filosofía de la naturaleza; y finalmente me ocuparé de la cuestión del lugar del hombre en el marco que proporciona la cosmología actual.

3.1. El ajuste fino del universo y sus posibles implicaciones

En cosmología se denomina «ajuste fino» al hecho, que se ha ido poniendo de manifiesto con nitidez sobre todo en las últimas décadas, de que bastaría con que el marco constituido por las

leyes físicas y las constantes de la naturaleza hubiera sido ligeramente diferente a como de hecho es para que en el universo resultara imposible, o al menos extremadamente difícil, el desarrollo de estructuras complejas, y en particular el desarrollo de estructuras tan complejas como las de los seres vivos, y más aún de estructuras tan complejas como el cerebro humano (cuyo origen evolutivo requiere condiciones físicas mucho más particulares todavía que la mera vida unicelular).

No es ninguna casualidad que el tema del ajuste fino del universo haya comenzado tan recientemente a situarse en el foco de atención de los especialistas. Pues es a partir de los años ochenta del pasado siglo cuando contamos con un modelo cosmológico estándar, que describe la dinámica global del universo, y con un modelo estándar de física de partículas, que describe las peculiaridades de las interacciones entre los componentes básicos del mundo.

Si, con ayuda de ambos modelos, y el soporte técnico que nos proporcionan los ordenadores actuales, simulamos lo que ocurriría si las intensidades de las fuerzas de la naturaleza fueran ligeramente diferentes, o si el valor de la constante cosmológica fuera ligeramente diferente, o la relación entre las masas del protón y del neutrón, o muchos otros parámetros que encontramos en los fundamentos de la física, el resultado al que llegamos una y otra vez es que parece mucho más fácil producir un universo que colapse inmediatamente, o uno cuyas partículas se encuentren todas a grandes distancias unas de otras, o un universo compuesto solo de hidrógeno y radiación, o solo de helio y radiación, o solo de neutrones, etc., que un universo con la riqueza de estructuras y complejidad que presenta nuestro cosmos10.

En otras palabras, la impresión que se deriva del estudio de las posibles variaciones estructurales en las leyes de la naturaleza es que la estructura de leyes y constantes existente de hecho no es una disposición cualquiera, sino una muy peculiar. Se trata de un ordenamiento que consigue, con un mínimo de reglas, posibilitar el despliegue de una enorme variedad de entidades complejas, y entre ellas la vida, y la vida inteligente.

¿Qué consecuencias podría tener este hecho para nuestra visión de la naturaleza? El autor del libro pionero y más influyente de entre los dedicados a analizar las posibles consecuencias filosóficas del dato del ajuste fino ha sido John Leslie. Ese libro, que lleva por título *Universos*, concluye del modo siguiente:

> Es mucho lo que apunta a que sería sorprendente que se pudieran cumplir en alguna parte los requisitos para la vida, a no ser que sea verdadero lo siguiente: que Dios existe y/o que existen una enorme cantidad de universos muy diferentes (Leslie, 19962: 204).

La primera opción explicaría el ajuste fino como resultado de un diseño: El universo presenta estas leyes y constantes porque ha sido diseñado (entre otras cosas) para que pueda surgir la vida.

La segunda opción explicaría el ajuste fino como resultado de un efecto de perspectiva: Si hay muchos universos, y cada uno de ellos posee leyes y constantes diferentes, está claro que solo podemos observar uno cuyas leyes y constantes resulten adecuadas para la generación de seres como nosotros. Esta es la idea básica de la hipótesis conocida como «hipótesis del multiverso».

Existe también una tercera opción, pero Leslie no la menciona en ese párrafo final, porque la ha rechazado mucho antes en su libro: el azar. Es decir, la idea de que las constantes y leyes de la naturaleza son las que son por casualidad. Un argumento que ofrece Leslie contra la alternativa del azar, y que ha tenido mucha influencia en las discusiones posteriores, es el denominado «argumento del pelotón de fusilamiento» (Leslie, 19962: 13-14). El astrónomo Martin Rees, que lo hace suyo, lo explica por ejemplo con las siguientes palabras:

> A mí esta respuesta no puede satisfacerme realmente. En este contexto quiero mencionar una reflexión del filósofo canadiense John Leslie: Suponga que se encuentra usted frente a un pelotón de cincuenta tiradores de precisión, que apuntan todos contra usted, pero todos fallan el tiro. Si

> alguno de los tiradores no hubiera fallado, usted no habría sobrevivido, y no podría pensar más sobre este problema. Sin embargo, usted seguramente no se conformaría con eso. Estaría, sorprendido, a pesar de todo, y buscaría razones más profundas de su suerte. Pues bien, justo en ese mismo sentido deberíamos también nosotros continuar preguntándonos y reflexionando sobre por qué las leyes y condiciones únicas del mundo físico permiten las consecuencias tan interesantes que observamos (y de las cuales somos una parte)11.

Ahora bien, aunque ciertamente la posibilidad del azar se nos muestra aquí como algo poco plausible, en rigor no podemos soslayar por completo esta alternativa. Pues, por improbable que algo sea, si no es imposible, no puede ser realmente descartado.

En cambio, son cada vez más numerosos los autores que consideran que la explicación del ajuste fino por medio de la hipótesis del multiverso no funciona realmente. La razón del fracaso de este enfoque es la siguiente:

Si partimos de que un multiverso es un conjunto de universos, generados de alguna forma, como variaciones de una estructura física general, lo cierto es que pueden definirse muchos multiversos diferentes, en función de cuál sea esa estructura general (por ejemplo la teoría de cuerdas, o la física newtoniana, o cualquier otro marco que pueda formularse consistentemente). Ahora bien, la mayoría de los multiversos así definidos no contendrán ni tan siquiera un universo habitable, pues la mayor parte de las estructuras matemáticas que pueden ser tomadas como base para delimitar las líneas generales de las leyes de la naturaleza de los universos que constituyen un multiverso no permiten en ningún caso el desarrollo de entidades complejas12. Por tanto, parece que los multiversos lo único que hacen es desplazar el problema del ajuste fino: Ahora la pregunta ante la que nos enfrentamos es la de por qué existe este multiverso biófilo en lugar de cualquiera de los mucho más numerosos multiversos estériles.

Y si, para tratar de esquivar este problema, postulamos, como ha propuesto el físico Max Tegmark, que todas las estructuras matemáticas consistentes existen también físicamente —esta es la hipótesis conocida como «multiverso matemático»— entonces se plantea otro problema: el de por qué observamos un universo de leyes tan atípicamente sencillas. Pues en el multiverso matemático pueden formularse infinidad de universos con estructuras similares a las del nuestro pero con leyes de la física mucho más complicadas (leyes que contengan, por ejemplo, variaciones temporales de algunos parámetros dentro de un rango compatible con el mantenimiento de las estructuras químicas)13.

De manera que la hipótesis del multiverso siempre deja algo por explicar: o bien el carácter biófilo de las leyes de nuestro universo (que es la cuestión que inicialmente queríamos resolver, pero que simplemente es desplazada a un nuevo plano), o bien la simplicidad de las leyes de nuestro universo (que se vuelve extremadamente improbable en el multiverso matemático, dentro del conjunto de universos que permiten la vida en ese marco). Cabe resumir la dificultad diciendo que los multiversos nunca tienen el tamaño adecuado para resolver el problema del ajuste fino: o son demasiado pequeños para ello (todos menos el multiverso matemático), o son demasiado grandes (el multiverso matemático) y resuelven la dificultad generando otra.

De ahí que pueda decirse, en definitiva, que el azar o el diseño constituyen las dos únicas posibilidades interpretativas reales del dato del ajuste fino.

3.2. **El universo infinito y la repetición de los seres y las historias**

En este apartado estamos considerando la cuestión de qué consecuencias para nuestra imagen de la naturaleza cabe derivar de los modelos de la cosmología física actual. El análisis de esta cuestión constituye una parte importante de la filosofía de la cosmología; una parte que no carece de dificultad. Esto es así porque hay toda una serie de arquetipos cosmológicos, es decir, representaciones antiguas sobre la forma de ser del

mundo que son propuestas una y otra vez, en diversas variantes, a lo largo de la historia, y que, en la actualidad, se presentan en ocasiones como resultados de la cosmología física. Por supuesto, no es descartable de entrada que uno u otro de tales arquetipos encuentre hoy un verdadero soporte científico. Pero con frecuencia lo que se da es más bien una proyección forzada de ideas previas en el marco teórico vigente. Distinguir tales ideas de las auténticas implicaciones de la cosmología es una tarea a veces complicada, pero necesaria.

Mencionemos un ejemplo concreto: el arquetipo de la repetición infinita de seres e historias. La idea de que los objetos, los acontecimientos, y las series de eventos, se repiten infinitamente, haciendo que las mismas historias sucedan una y otra vez, constituye un buen ejemplo de esos antiguos y persistentes esquemas del pensamiento. En nuestra civilización, esta idea es por lo menos tan antigua como la filosofía, y también se puede encontrar incluso en las tradiciones más antiguas del pensamiento mítico14.

En el pasado, las repeticiones infinitas se propusieron habitualmente como recurrencias en el tiempo —el llamado «eterno retorno»—, más que como repeticiones en el espacio. La predilección por la variable temporal se debía a que durante la mayor parte de la historia del pensamiento occidental el espacio fue considerado como finito, mientras que, en cambio, la dimensión temporal podría ser quizás infinita, y por eso era la que tendría el tamaño suficiente como para albergar innumerables repeticiones. Sin embargo, puesto que el actual modelo cosmológico estándar afirma que el pasado del universo es finito, y como, además, según este mismo modelo, los distintos estadios de la evolución del universo implican escenarios físicos bien diferentes, la situación histórica se ha invertido: Ahora el marco espacial parece más propicio que el temporal para la repetición infinita de historias y objetos.

De ahí que, en el presente, el esquema de las repeticiones infinitas tienda a ser formulado como repeticiones de objetos e historias en el espacio. Y así, en las últimas décadas, varios autores han tratado de demostrar que, si partimos del supuesto

de un universo espacialmente infinito —que es un escenario que en los modelos cosmológicos actuales aparece con frecuencia como una posibilidad muy a tener en cuenta—, se sigue la repetición infinita de los objetos y las historias en el espacio. Los argumentos más conocidos que pretenden establecer esta conclusión son, en primer lugar el de Ellis y Brundrit —que utilizan como base el modelo cosmológico estándar— y el de Garriga y Vilenkin —que parten de un modelo de cosmología cuántica—15.

Sin embargo, un análisis detallado muestra que la conclusión de ambos argumentos no se deriva sin más del supuesto de un universo infinito, sino que en los dos casos se requieren postulados adicionales no garantizados, e incluso implausibles (Soler Gil; Alfonseca, 2014). De manera que, más que ante la derivación de una consecuencia de la cosmología física, nos hallamos realmente ante la proyección sobre ella de un viejo arquetipo, que se nos ofrece ahora en el lenguaje de la física actual. En el caso de la argumentación de Garriga y Vilenkin resulta relativamente sencillo darse cuenta de esto, pues, al no estar basado en la física estándar, el despliegue de su argumento requiere toda una cadena de supuestos no garantizados. Pero incluso el mucho más sólido, e intuitivamente atractivo, planteamiento clásico de Ellis y Brundrit contiene un punto débil decisivo: la asunción de que las distintas historias posibles en un universo infinito regido por el modelo cosmológico estándar pueden tener una probabilidad de ocurrir mayor que cero. En realidad, dicha probabilidad es siempre cero, entre otras razones porque la cardinalidad del conjunto de historias posibles en un universo infinito regido por las ecuaciones de Friedmann es superior que la cardinalidad del conjunto de objetos16. Dicho de otro modo: En el espacio de configuración de las variantes del modelo cosmológico estándar que implican un universo infinito pueden definirse infinitamente más historias posibles que objetos hay en el universo (por más que el número de objetos sea también infinito, puesto que el de los objetos es un infinito numerable, y el de las historias no lo es), y, por eso, resulta infinitamente improbable que alguna historia

particular se repita.

En definitiva, lo que este ejemplo muestra es que no todas las anunciadas consecuencias de la cosmología para la filosofía de la naturaleza, o, en general, para nuestra imagen del mundo, lo son realmente. Y, de hecho, el número de anuncios espectaculares que no resisten un análisis crítico tiende a aumentar. Ello es debido en parte a la dinámica de las publicaciones de divulgación científica, que exige un estado de revolución científica permanente, así como también es debido en parte a estrategias para la recaudación de fondos para la investigación. Pero tematizar estos aspectos nos llevaría desde la filosofía de la naturaleza hacia la sociología de la ciencia, que es un tema apasionante, pero que escapa a los propósitos de este capítulo.

3.3. **Cosmología y la controversia entre naturalismo y teología**

Una de las cuestiones clave de la filosofía de la naturaleza es la de si la naturaleza coincide sin más con la realidad, o si es más razonable sostener que existen ámbitos no naturales de lo real. El naturalismo es el enfoque filosófico que parte del supuesto que toda realidad se encuentra incluida de algún modo incluida en la naturaleza (bien sea como componente básico, como relación, fuerza, propiedad emergente, o de cualquier otro modo); mientras que el enfoque teológico desarrolla la alternativa de que la propia naturaleza esté fundada en una realidad no natural, que no resulta adecuado describir tentativamente empleando conceptos que asociamos con las experiencias materiales (tales como fuerza, masa, longitud etc.), sino a la que debemos aproximarnos más bien por medio de conceptos que asociamos con las experiencias mentales (tales como consciencia, autoconsciencia, *logos*, etc.). Dicho en otros términos: Para el naturalismo, la inteligencia sería siempre una realidad secundaria, un producto de la naturaleza en determinadas circunstancias; mientras que para la teología la propia naturaleza se entiende mejor como el producto de una inteligencia fundante (y las inteligencias naturales, como la humana, podrían concebirse, en cierto modo, como un reflejo de

esa realidad fundante).

Pues bien, resulta que los partidarios del enfoque teológico han tendido históricamente a apoyar determinadas tesis sobre el universo, mientras que los defensores del enfoque materialista han estado más bien comprometidos con tesis diametralmente opuestas. La contraposición es manifiesta, sobre todo, por lo que se refiere a tres cuestiones: (1) qué tipo de entidad es el universo; (2) qué papel juega la racionalidad en el universo; (3) qué papel juega la finalidad en el universo.

¿Por qué precisamente estos puntos?

Bien, podríamos tratar de sintetizar la respuesta así: Puesto que en el enfoque teológico el universo es concebido como producto de una inteligencia primordial, lo más sencillo es atribuirle entonces las características que corresponden a los productos de una mente. A saber: (1) será un objeto; (2) será racional; (3) y habrá sido diseñado en función de unos fines. Pues los productos materiales que genera la mente poseen estas características17. Por eso, los teólogos cristianos, desde Atenágoras (en el siglo II) en adelante, han tendido a establecer una analogía entre el universo y el producto de un artesano, o de un artista: el universo, en esencia, sería algo comparable a un edificio, a una máquina, a un instrumento musical, etc.

En cambio, puesto que el enfoque naturalista considera el universo como la realidad primera, (1') no se deberá concebir este como un objeto. Pues los objetos son entidades contingentes, de las que se espera que posean una causa. Más bien se tenderá a decir que se trata de una realidad que pertenece a otra categoría, o esfera lógica diferente (Russell, 1986: 209-210), o incluso que la palabra «universo» no designa ninguna entidad real18, sino que la «naturaleza son partes sin un todo» (Pessoa, 2012: poema XLVII). Y como desde el enfoque naturalista la razón es un producto derivado siempre de un entorno particular, (2') no hay por qué esperar que sea posible una descripción racional de ambientes muy lejanos a ese entorno, (3') ni mucho menos cabe esperar que el universo posea fines de ninguna clase.

Por supuesto, no cabe hacerse ilusiones de que la cosmología

baste para resolver una controversia filosófica tan larga y enconada como la que se viene desarrollando desde hace siglos entre la perspectiva teológica y la perspectiva naturalista. Pero lo cierto es que la cosmología física actual describe el universo como un objeto físico ordinario. Y el hecho de que tales descripciones posean incluso un poder predictivo nos anima a pensar que no nos hallamos frente a meras ficciones destinadas a ofrecernos un mito que adormezca nuestra sed de conocimiento en un tema de suyo inabordable. Que el universo pueda ser descrito como un objeto resulta sorprendente.

Y resulta no menos enigmático el grado de racionalidad que parece poseer el universo. Y más aún el hecho de que nuestro intelecto, surgido en un ambiente muy concreto, y muy alejado de condiciones físicas extremas, pueda comprender esa racionalidad hasta el punto en que de hecho lo hace. La afinidad de nuestro pensamiento con la estructura global de la naturaleza va realmente mucho más allá de lo que parece en principio razonable.

Y, por último, también es remarcable el carácter de las leyes y las constantes que rigen nuestro universo, y que dan la impresión de haber sido concebidas de modo que aúnen un máximo de sencillez con una extraordinaria capacidad de generar estructuras complejas, y entre ellas la vida, y muy en particular la vida inteligente.

En sentido estricto, ninguno de estos aspectos de nuestra imagen actual del cosmos demuestra nada, ni tomados por separado, ni en conjunto. Pero lo cierto es que la cosmología nos sitúa frente a una entidad que se nos manifiesta como un objeto racional y tendente a fines. Y la cercanía de esa imagen con la concepción teológica del universo es innegable19.

3.4. **El lugar del hombre en el escenario cósmico**

Para concluir esta pequeña muestra de impulsos que la filosofía de la naturaleza puede recibir de la cosmología, planteemos ahora, con toda brevedad, la cuestión relativa al lugar que ocupamos nosotros en el escenario que dibuja la cosmología física de nuestro tiempo.

Para tratar de responderla, lo primero que hay que hacer es

pensar qué coordenadas se requieren para situar al hombre en el escenario del cosmos. El hombre es, en cuanto sistema físico, una entidad que posee unas ciertas dimensiones espaciales, una duración temporal, y una determinada estructura material. Además de esto, y sin que se sepa muy bien cómo ni por qué, lo cierto es que el hombre posee tiene pensamiento, conciencia. Teniendo en cuenta estas coordenadas, ¿qué puesto ocupamos, pues, en el cosmos?

Suele decirse que la gran lección de la astrofísica y la cosmología ha sido mostrar nuestra pequeñez. Actualmente se calcula que el universo observable posee un tamaño del orden de los 1026 m. Si consideramos que el tamaño humano está en la escala de los metros, e incluso que el tamaño de la Tierra que habitamos es del orden de los 107 m, la primera impresión que obtenemos es que el hombre parece ser bien poquita cosa en el universo.

No obstante, lo cierto es que, si pensáramos que el papel, o la importancia, o el significado del hombre hay que medirlo por su longitud, entonces en rigor tendríamos que plantearnos cuál es su posición en la escala completa de tamaños. Ahora bien, el tamaño de las partículas fundamentales conocidas en la actualidad es del orden de los 10-18 m, e incluso podríamos mencionar distancias menores. Por ejemplo, según la conjetura de varios de los intentos de construcción de la teoría de la gravedad cuántica, la distancia más corta con sentido físico sería la llamada «longitud de Planck», de unos 10-35 m aproximadamente. Si buscamos entonces la posición del hombre, en esa escala que va desde los 10-35m de la longitud de Planck hasta los 1026 m de los confines del universo observable, resulta que el hombre se encuentra entre las entidades físicas de la mitad superior.

Por supuesto, este dato no parece muy significativo. Y lo es menos aún si consideramos que la física actual no puede realmente descartar ni la posibilidad de que el universo sea infinito en extensión, ni la posibilidad de que sea infinitamente divisible (...y algunos datos más bien incluso apuntan a estos escenarios). Ahora bien, si el universo fuera infinito en

extensión e infinitamente divisible, entonces cualquier lugar en la escala de longitudes sería exactamente igual que cualquier otro. Por lo que, después de todo, quizás la longitud no sea el parámetro más adecuado para situarnos en el cosmos. Y parecidas reflexiones cabe hacer por lo que respecta a nuestra posición en la escala de duración temporal.

Pero si en la escala de las longitudes, o en la escala de duraciones temporales de las entidades que componen el universo ocupamos un lugar cualquiera, no cabe decir lo mismo por lo que se refiere a la escala de la complejidad estructural: Existe una gran unanimidad entre los especialistas en considerar que el cerebro humano constituye la estructura más compleja conocida. De manera que estamos situados en un lugar muy peculiar en la escala de la complejidad: en su pico, o en uno de sus picos20.

Quizás el dato anterior pueda ser de alguna utilidad para comenzar a situarnos en la pintura del mundo. Sin embargo, el gran problema al que se enfrenta nuestro intento de encontrar un lugar en dicha pintura consiste en que nuestro rasgo más íntimo, el pensamiento, y todo el ámbito asociado con él —el ámbito de la conciencia, con sus reflexiones, sus deliberaciones, sus decisiones voluntarias, etc.— ha mostrado hasta ahora una resistencia tenaz a ser comprendido en términos físicos, o en términos de cualquier otra de las ciencias naturales. Entre los conceptos mentales y los conceptos físico-materiales parece abrirse un abismo que ninguno de los mil y un intentos realizados hasta la fecha para «naturalizar» la conciencia ha podido salvar21.

Esta circunstancia, que con toda probabilidad está destinada a permanecer como un hecho estable, constituye un límite muy severo a nuestro intento de situar al hombre en la imagen actual del cosmos. Pues precisamente lo más esencial del hombre resulta invisible en el plano físico de la realidad. Por eso, y pese a todas las consideraciones efectuadas en los párrafos anteriores, es muy posible que la tarea de situarnos en la pintura cósmica no sea realizable, al menos en el estadio actual de desarrollo del conocimiento22. No cabe situar con precisión al hombre en el

marco del cosmos, porque lo realmente característico de él no se expresa en términos físicos.

1 Supuestos relativos al tipo de estructuras matemáticas y elementos matemáticos que sirven para describir los fenómenos naturales (por ejemplo lo admisibilidad o no de los infinitos matemáticos como elementos descriptivos de los fenómenos físicos), al alcance y naturaleza de la causalidad, a la posibilidad de inducir reglas generales a partir de un número finito de experiencias, a la posibilidad de extrapolar las reglas obtenidas localmente más allá del ámbito donde pueden comprobarse directamente, a la estabilidad temporal de las leyes físicas etc.

2 El lector interesado en las distintas facetas filosóficas de la cosmología puede consultar Soler Gil, 2016. Los diversos apartados de este capítulo sintetizan exposiciones más extensas que he realizado en esa obra.

3 Si bien recientemente se anunció el posible descubrimiento de una estructura de varios cientos de Mpc. (Clowes *et al.*, 2012).

4 Acerca de las posibilidad de formular una cosmología relativista que tomara como base una idea jerárquica, o fractal, del universo, puede consultarse, por ejemplo Ribeiro, 2009.

5 Por mencionar un ejemplo extremo, en Kanitscheider, 2002: 383-385, se discute un modelo completamente inverosímil del cosmos, formulado, entre otros, por Johannes Lang, según el cual la Tierra sería hueca, nosotros viviríamos en su superficie interior, y las observaciones astronómicas se referirían a fenómenos que ocurren en puntos más cercanos al centro. Por absurda que parezca esta hipótesis, puede mostrarse que, si se formula con cuidado, cabe readaptar la física de tal modo que no sea empíricamente refutable, sino solo descartable por medio de consideraciones filosóficas acerca del tipo de hipótesis que podemos considerar verosímiles.

6 Esta idea es compartida por muchos físicos. Por mencionar un solo ejemplo, escribe Amedeo Balbi lo siguiente: «Habitualmente pensamos que no hay nada infinito en la naturaleza. Pero curiosamente parecemos inclinados a suponer que el universo podría ser infinito. No obstante la naturaleza aborrece el infinito, y buena razón tiene para hacerlo» (Balbi, 2008: 138).

7 De una conversación en el año 1980 entre Paul Dirac y Ed Witten. Citada en Riordan, 2012.
8 En este contexto afirma, por ejemplo, Carlo Rovelli: «Yo creo que lo verdaderamente infinito podría ser el abismo de nuestra ignorancia.» (Rovelli, 2011).
9 Una buena exposición de la cosmología newtoniana de Milne y McCrea se encuentra en Schneider, 2006: 146-148. Acerca de las dificultades de Newton con la cosmología Véase por ejemplo Kragh, 2007: cap. 2.
10 Hay en la literatura especializada un buen número de exposiciones y discusiones de ejemplos del ajuste fino de las leyes y las constantes de la naturaleza. Al lector que quiera introducirse en este asunto, le recomiendo especialmente, por su brevedad y precisión la lectura de Collins, 2005. El libro que más contribuyó a impulsar los estudios sobre el ajuste fino del universo en la década de los ochenta fue Barrow; Tipler, 1986. Entre los especialistas que han estudiado más intensamente la cuestión del ajuste fino, el astrónomo Martin Rees ha escrito algunas de las exposiciones divulgativas más populares. Véase por ejemplo Rees, 2001. A nivel especializado, se discuten muchos casos de ajuste fino por ejemplo en Carr, 2007. Tres artículos de revisión de la literatura sobre el ajuste fino son Hogan, 2000; Cohen, 2008 y Barnes, 2012.
11 Esta cita se encuentra en el libro Rees, 2001. Traduzco de la versión alemana Rees, 2003: 173-174.
12 A modo de ejemplo, puede el lector considerar un multiverso que estuviera formado por mundos regidos por variaciones de la mecánica clásica de Newton. Puesto que en el marco de la física newtoniana no pueden formarse átomos estables, no sería posible la química, ni nada de lo que se apoya en ella, en ninguno de los universos de ese multiverso.
13 Véase por ejemplo Soler Gil; Alfonseca, 2013, y también por ejemplo; Hogan, 2007: 223 y Davies, 2007: 494.
14 Véase, por ejemplo, Eliade, 1954.
15 La versión original de estos argumentos es Ellis; Brundrit, 1979 y Garriga; Vilenkin, 2001.
16 Otros aspectos importantes a tener en cuenta en el análisis de

la posibilidad de repetición de historias en un universo como el Ellis y Brundrit es el carácter caótico de las ecuaciones de la física relativista que manejan así como el hecho de que la finitud del pasado en este modelo cosmológico convierte el conjunto de historias similares a una dada en un conjunto de medida cero en el conjunto de historias posibles Soler Gil; Alfonseca, 2014.
17 He analizado con cierto detalle estas implicaciones cosmológicas de la doctrina teológica de la creación en Soler Gil, 2013: cap. 3. Sobre todo en las páginas 209-225.
18 Por ejemplo: Savater, 1999: 124: «¿Y si no hubiera tal cosa como la supercosa-universo? ¿Y si solo hubiera cosas, innumerables cosas que se suceden unas a otras [...] pero no hubiera ninguna gran Cosa formada por todas las cosas?»
19 Para una discusión detallada de este punto, puede consultarse, por ejemplo Soler Gil, 2016: cap. 6.
20 Resulta más prudente utilizar la forma plural en este caso, puesto que, en principio, no podemos descartar la posibilidad de que en otros planetas existan formas de vida que hayan alcanzado grados de complejidad iguales o mayores que la nuestra. Sobre la búsqueda de vida inteligente en otros mundos es muy recomendable la lectura de Alfonseca, 1993.
21 Una lectura muy importante sobre este asunto es: Arana, 2015. Un análisis detallado del necesario fracaso de los intentos de reducir la dimensión consciente al plano descrito por las neurociencias se encuentra en: Falkenburg, 2012.
22 Recientemente, el filósofo Thomas Nagel ha defendido que solo podremos obtener una imagen del mundo que comprenda dentro sí también a lo humano si reconocemos el fracaso del marco materialista vigente para afrontar esta tarea, y tratamos de buscar nuevas bases teóricas completamente distintas. Aunque he de reconocer mi escepticismo respecto a la posibilidad de realizar el proyecto de Nagel, su análisis de la imposibilidad del marco vigente para entender la mente me parece tan acertada que no puedo menos que encarecer la lectura de su ensayo. Francisco Rodríguez Valls ha preparado una traducción castellana de la obra de Nagel, 2014.

X. **Cerebro y pensamiento**[1]

Brigitte Falkenburg
Universität Dortmund

El que se pregunta por la relación entre el cerebro y el pensamiento, no puede pasar de largo por las neurociencias. ¿Qué solidez poseen los planteamientos de los neurocientíficos para explicar por medio de mecanismos neuronales nuestras capacidades cognitivas, incluyendo la propia conciencia? Los métodos explicativos de las neurociencias proceden de la física, la química y la biología. Sin embargo, las derivaciones desde una totalidad a sus partes, o desde los efectos a sus causas, que son ahí típicas, se encuentran con sus límites en el intento de explicar la conciencia. En lo que sigue, voy a esbozar en primer lugar los métodos *top-down* y las explicaciones *bottom-up* de las ciencias naturales. Después analizaré la estructura de las explicaciones «mecanicistas» de las neurociencias —las explicaciones por medio de mecanismos neuronales—. Pero ese enfoque no explica la conciencia: La conciencia no es ninguna parte del cerebro; cómo sea producida por las actividades de las neuronas en el cerebro es algo que se desconoce por completo. Las explicaciones mecanicistas nos permiten avanzar tan poco aquí como el concepto de información; pues la información que procesa una red neuronal no es del mismo tipo que la información que comprendemos conscientemente. La muy discutida afirmación de que nuestra conciencia es causada o determinada por procesos neuronales no cumple con los requisitos de una buena explicación científica, en el estado actual de las neurociencias. Los modelos de la conciencia que se basan en los acreditados enfoques explicativos mecanicistas son engañosos y deben ser sometidos a una revisión crítica[2].

1. **MÉTODOS DE LAS NEUROCIENCIAS**

Los científicos denominan a la descomposición de un todo en las partes que lo componen el «enfoque-*top-down*» y a la comprensión inversa del todo a partir de la interacción de las partes el «enfoque-*bottom-up*». Y vienen practicando este

proceder desde los estudios anatómicos del renacimiento y desde la fundación de la física moderna por Galilei y Newton. Los científicos de entonces llamaron al procedimiento combinado de enfoque *top-down* y el *bottom-up* el método analítico-sintético, o resolutivo-compositivo. Los términos «analítico» y «sintético» significaban entonces lo mismo que aún hoy significan en la química: El análisis de un material nos conduce a los elementos químicos que contiene (*analysis* = *resolutio* = descomposición). La síntesis se obtiene, por el contrario, «cocinando» un material a partir de elementos químicos (*synthesis* = *compositio* = composición).

Los enfoques *top-down* y *bottom-up* de las ciencias naturales no se reducen desde entonces a la mera descomposición y recomposición de un todo dado y sus partes. Exactamente igual de importante es el análisis causal, la búsqueda de las causas de los fenómenos, como un método que aspira a la inferencia a la mejor explicación. La física, la química, la biología o las neurociencias combinan en las dos direcciones los procedimientos «mereológicos» o atomísticos, es decir, la búsqueda de los componentes más simples que se pueda, con el análisis causal y la búsqueda de una explicación causal3.

Analíticamente, o *top-down*, proceden los métodos científicos desde el todo hacia las partes y desde los efectos hacia las causas. Sínteticamente, o *bottom-up*, proceden por el contrario desde las partes hacia el todo y desde las causas hacia los efectos. La investigación tiene por objetivo explicar de modo tan completo como sea posible el todo y sus propiedades *bottom-up* a partir de las propiedades de sus partes, así como derivar con la misma completitud los efectos observados a partir de las causas descubiertas *top-down*. El enfoque-*top-down* debe proporcionar una inferencia hacia la mejor explicación de los fenómenos, mientras que el enfoque-*bottom-up* debe mostrar, por el contrario, si la explicación funciona bien —si explica los fenómenos de partida y, más allá de ellos, predice aún *nuevos* fenómenos—.

En la química y la física nos conduce el conocimiento *top-down* desde los materiales hasta los elementos químicos, las

moléculas y átomos, los electrones y los núcleos atómicos, los protones y los neutrones hasta los quarks. En la biología nos conduce la investigación *top-down* desde el organismo a la estructura de los órganos, a las células, al ADN con su estructura de doble hélice, a su configuración de aminoácidos, y la configuración molecular de estos. Así se redujo finalmente la biología a la bioquímica y sus bases físicas, si bien las explicaciones *bottom-up* presentan aquí bastantes más huecos que en la física.

En las neurociencias, el procedimiento *top-down* va desde el cerebro a las neuronas que lo componen; desde los fallos mentales hasta los daños cerebrales considerados como sus causas físicas; de la actividad cerebral eléctrica, hecha visible por medio de procedimientos de producción de imágenes, a su base electroquímica de transmisión de señal por medio de portadores químicos; de reacciones físicas o mentales a los estímulos físicos. La dirección contraria es seguida por el procedimiento *bottom-up*: Los neurocientíficos originan por medio de impulsos de electrodos y estimulación magnética transcraneal estímulos físicos en el cerebro, e investigan las reacciones físicas o mentales provocadas de este modo; y quieren entender las facultades cognitivas de los animales y el hombre a partir del cerebro. El objetivo más ambicioso consiste en explicar *bottom-up* a través de qué mecanismos neuronales producen la conciencia y la autoconcienia las altamente conectadas neuronas del córtex.

Al igual que en la física, la química y la bioquímica, ambas líneas explicativas combinan en su embestida los arriba mencionados aspectos atomistas y causales. Los neurocientíficos investigan de qué partes se compone el cerebro como un todo (aspecto atomístico) y de qué causas se derivan sus rendimientos cognitivos (aspecto causal). Comienzan con el cerebro e investigan su estructura *top-down* desde los hemisferios cerebrales y las diferentes áreas, el córtex y la sustancia blanca, las columnas y las capas de células y su estructura, hasta las neuronas, axones, dendritas y sinapsis, incluyendo su estructura biológica y bioquímica. Parten de las funciones y disfunciones

cognitivas, es decir, de los rendimientos y defectos mentales, y buscan sus causas físicas en el cerebro. Someten al análisis experimental la transmisión de señales en los nervios, por medio, por ejemplo, de la medida de potenciales de acción; y utilizan procedimientos de producción de imágenes para «ver por dentro» el cerebro, es decir, para medir la actividad neuronal. A la inversa, quieren explicar los rendimientos cognitivos del cerebro, como por ejemplo la percepción, el aprendizaje y la memoria *bottom-up* por medio de mecanismos neuronales a nivel bajo y a nivel alto.

2. EXPLICACIÓN MECANICISTA

Típico de las explicaciones mecanicistas es el relacionar los aspectos causales y atomísticos: Explican el todo desde la concurrencia de las actividades causales de las partes. Un mecanismo es un proceso en un sistema compuesto, en el que factores causales en el plano de los componentes del sistema se acoplan de tal manera que se da lugar a un suceso o acontecimiento en el plano del sistema total (véase la figura 1):

Un mecanismo consta de un cierto conjunto de partes, que ejecutan operaciones específicas y están organizadas de tal manera que producen un fenómeno dado (Bechtel, 2008: 4)4.

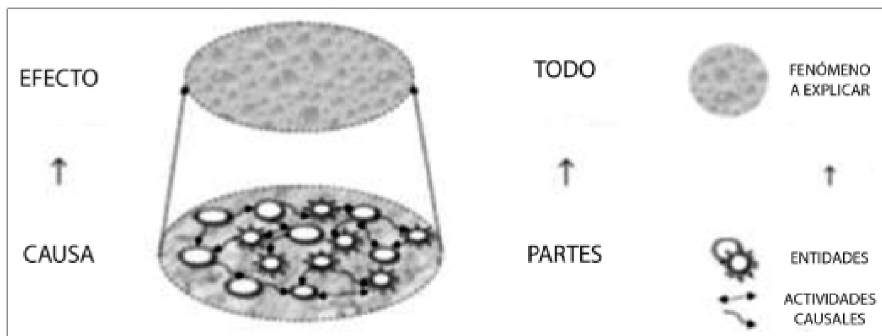


Figura 1. Visualización de un mecanismo

En el centro de esta definición se encuentra la interacción de los componentes causales que provocan que un todo estructural funcione de una manera determinada. En biología, la explicación mecanicista tiene por objetivo explicar la función de un órgano a partir de las actividades o de la dinámica de sus componentes. Esta explicación sirve para reducir el

comportamiento aparentemente «teleológico» de un sistema orgánico, como por ejemplo la manera de funcionar el ojo, a los mecanismos de acción de sus componentes. Esto se corresponde con el proyecto perseguido desde Galileo y Newton de erradicar las explicaciones teleológicas de Aristóteles, que entendía los procesos naturales como tendentes a fines, en favor de explicaciones causales en el sentido moderno.

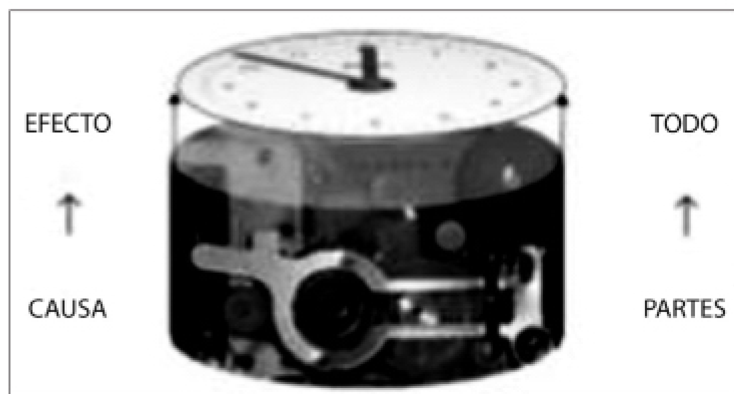


Figura 2. Mecanismo de un reloj

Por tanto, las explicaciones mecanicistas de la biología están concebidas siguiendo el modelo de la física. Sin embargo, inicialmente el concepto de «mecanismo» proviene de la técnica. Un mecanismo es una maquinaria que produce un determinado resultado por medio del engranaje de sus piezas. El prototipo de un mecanismo es un reloj; el movimiento de las ruedas dentadas en la máquina produce la indicación del tiempo en la esfera del reloj (figura 2).

Y algo similar por lo que se refiere a los sistemas compuestos de la física, ligados dinámicamente. Las interacciones de los cuerpos celestes siguiendo la ley de la gravedad explican por qué los planetas se mueven aproximadamente en un plano (la eclíptica) en órbitas elípticas en torno al Sol, y por qué la Vía Láctea u otras galaxias poseen forma de disco con brazos en rotación. Las leyes de la física de los sólidos y de la fisicoquímica explican las características de un mineral y partir de la estructura atómica y cristalina. Las leyes de la mecánica cuántica explican las líneas espectrales de color que muestran

los gases al ser calentados, así como la estructura de los átomos. No obstante, a diferencia del modelo mecanoclásico del sistema solar, la mecánica cuántica nos enseña que en el interior de un átomo las partículas no siguen trayectorias clásicas. Los electrones y otras partículas subatómicas no se comportan como los objetos del mundo macroscópico. No se encuentran localizadas con exactitud; las leyes con arreglo a las cuales se ensamblan en sistemas ligados no son clásicas, sino cuánticas. Sin embargo, el mecanismo de ligadura en todos estos sistemas es en el fondo el mismo, y además es bien conocido: El todo se compone de partes, macroscópicas o microscópicas, que se mantienen unidas por medio de las fuerzas de la física, desde la fuerza de gravedad y pasando por el electromagnetismo hasta las fuerzas nucleares. Con ello, las propiedades dinámicas del todo se componen siempre conforme a los conocidos principios de conservación de la física para la masa, el impulso, la energía y la carga (Falkenburg, 2007: cap. 6). Esto vale también para las bases de biomoleculares y bioquímicas de la biología, así como de la biotecnología y la ingeniería genética, es decir, para la constitución del núcleo celular a partir del ADN, los mecanismos de su reduplicación y la bioquímica y la electroquímica de los procesos en las células.

Sin embargo, la mayor parte de las explicaciones mecanicistas de la física, la química y la biología no están basadas en las leyes deterministas de la mecánica clásica; y, en este sentido, el término «mecanismo» genera confusión. La culpa de esto no la tienen primariamente, como suele suponerse, los procesos indeterministas de la física cuántica. En primer lugar es la termodinámica la que desempeña aquí el papel central. Ella describe procesos irreversibles en los cuales se desvanece en el entorno de un sistema calor o energía de tal manera que no hay vuelta a atrás. La entropía —el grado de desorden de un sistema— aumenta con ello en los sistemas cerrados, o en el mejor de los casos permanece igual, pero jamás decrece espontáneamente, sin un suministro de energía desde el exterior. (Por eso el frigorífico necesita electricidad, y solo trabaja con eficiencia con la puerta cerrada). Cualquier

maquinaria, ya sea técnica o biológica, se encuentra sometida al segundo principio de la termodinámica, a la ley que acabamos de explicar del aumento de entropía en los sistemas cerrados, y consume por ello energía. Cada sistema natural o técnico obedece la ley de la entropía, es decir, funciona solo debido a un suministro de energía desde el exterior; ya sea el frigorífico conectado al enchufe; o un organismo que intercambia material con su entorno y se alimenta para poder desarrollarse y mantener su estructura.

Ahora bien, lo decisivo es que la base microscópica de la termodinámica, es decir el comportamiento térmico de los átomos y las moléculas en los gases macroscópicos, los líquidos y los sólidos, descansa sobre leyes probabilistas. Y aquí es donde entra en juego primeramente la teoría cuántica; de manera que uno no puede afirmar —o solo puede hacerlo al precio de asumir supuestos altamente especulativos— que un sistema termodinámico evoluciona «en principio», al nivel atómico, de forma determinista5. Y ya por eso, el transcurso de los procesos en los sistemás biológicos y la interacción de los componentes de un mecanismo biológico no se encuentran determinados por completo.

A menudo, un mecanismo se reconstruye como un batiburrillo de subprocesos deterministas e indeterministas. Mediante el término «mecanismo» se hace referencia ahí a una maquinaria física, química o biológica, que no posee un grado de efectividad del cien por cien, sino que trabaja con una eficiencia limitada. En tanto que la termodinámica desempeñe un papel (y ese siempre es el caso en los proceso biológicos), los procesos transcurren de manera irreversible, es decir, tan irreversibles como el remover la leche en el café, y estocásticos, es decir, legislados por leyes de probabilidad. Pero esto significa lo siguiente: Los mecanismos de la física, la química, la geología, la biología y las neurociencias no funcionan como los relojes mecánicos, que apenas si consumen energía, sino como las máquinas de vapor. Producen trabajo, pero ello al precio de que la entropía global aumente. Y tienen un grado de rendimiento limitado; mucha de la energía que consumen se

disipa en el entorno. Todo esto se aplica también a los mecanismos neuronales de las neurociencias.

3. **MECANISMOS NEURONALES**

Las explicaciones mecanicistas de la investigación neuronal tienen como objetivo explicar los fenómenos mentales *bottom-up* a partir de los sucesos neuronales, por medio de mecanismos neuronales. Hasta donde los efectos *físicos* han de ser aclarados por medio de causas neuronales, la explicación mecanicista es muy potente. Está mayormente aclarado cómo trabaja el sistema nervioso y qué procesos electroquímicos y bioquímicos influyen el acontecer neuronal. Los investigadores del cerebro saben entretanto mucho acerca de cómo los neurotransmisores amortiguan o amplifican la actividad neuronal, y como interactúan para ello. Su conocimiento llega tan lejos que pueden combatir los impedimentos del movimiento en enfermedades como la enfermedad de Parkinson o la de Huntington (el baile de San Vito). La intervención en la bioquímica y la electroquímica del cerebro no cura a los pacientes, pero puede frenar radicalmente el avance de la enfermedad. Más difícil resulta cuando se trata de los efectos *mentales* de causas físicas. Enfermedades como la depresión o la esquizofrenia son tratadas hoy en día igualmente por medios neurofarmacológicos, pero los mecanismos neuronales de acción y las condiciones bajo las que se tiene éxito son aquí menos claras.

Fijémonos ahora más de cerca en los mecanismos neuronales y su rendimiento explicativo. El objetivo es explicar a la manera mecanicista las facultades mentales que resultan de la actividad cerebral. Un mecanismo neuronal es, de acuerdo con la definición proprorcionada más arriba, una estructura cuyos componentes causales son neuronas (células nerviosas). La actividad de las neuronas consiste en la transmisión de señales. El todo estructural es un complejo edificio compuesto de muchas células nerviosas interconectadas, una red neuronal; la función que debe ser explicada es un rendimiento cognitivo, por ejemplo el reconocimiento de patrones o el aprendizaje. Pero en última instancia es explicada por medio de una analogía, la

analogía entre la red neuronal en el cerebro y un ordenador. La función a explicar del mecanismo neuronal es interpretada así como un procesamiento de información; son por tanto mecanismos de procesamiento de información los que han de explicar las funciones mentales (Bechtel, 2008: ix).

Hay dos tipos de actividades causales en la red neuronal, la transmisión de señal dentro de la célula nerviosa individual, y la transmisión de señal en las sinapsis. La primera se describe de forma determinista, por medio de un modelo de circuito de los de la electrodinámica. Este modelo fundamenta la analogía entre una red neuronal natural y una red neural artificial, es decir, un ordenador que trabaja en paralelo. Por medio de los procesos de ionización que tienen lugar en una célula y en las paredes celulares, una célula nerviosa funciona de un modo parecido a los circuitos eléctricos con los que se componen los *chips* de los ordenadores; al hacer esto se supone que los procesos en el circuito, así como también en la célula nerviosa, transcurren de un modo aproximadamente determinista, de manera que el modelo determinista es una buena idealización: En la célula nerviosa o en el circuito se disipa según la ley de la entropía tan poca energía en el entorno que la señal puede propagarse sin apenas atenuación a través de una larga distancia.

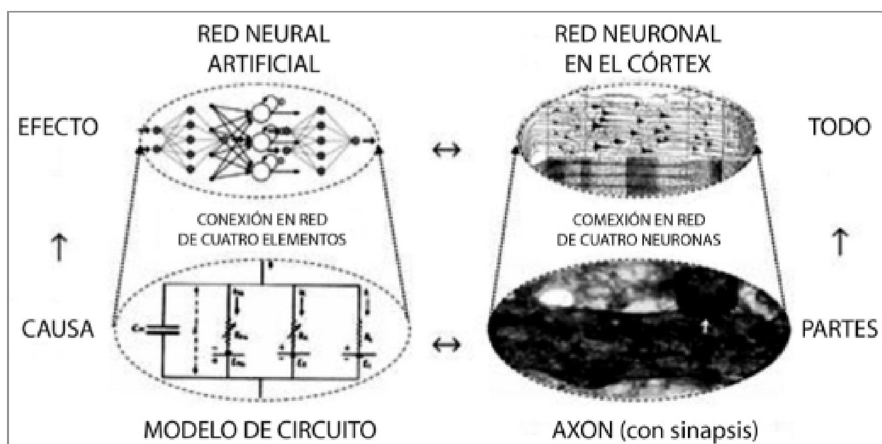


Figura 3. Modelo del circuito y analogía del ordenador

Se trata de una analogía formal, como es común en las

ciencias naturales. Y es ampliada con éxito desde las células nerviosas individuales a las conexiones en red de las neuronas en las sinapsis por medio de los neurotransmisores, en una analogía entre redes neuronales naturales y las redes neurales artificiales. La conexión en red entre las neuronas, sin embargo, no está estrictamente determinada, y con frecuencia ni siquiera aproximadamente, sino que es estocástica; es decir, la transmisión de la señal en las sinapsis ocurre aleatoriamente con una cierta probabilidad. Los neurotransmisores que son vertidos en las sinapsis para transmitir la señal solo poseen en parte un grado de efectividad de un 10-20 %, y por tanto apenas si funcionan mejor que una bombilla.

Una red neural artificial simula esta eficiencia limitada a través de pesos estadísticos, que se adaptan a los procesos de cálculo. Su algoritmo de cálculo se reduce a un método de aproximación estadística. Para el caso de que la red se «atasque», es decir, que sus resultados no puedan ya mejorarse en relación con la tolerancia a los fallos que ha sido prescrita, es programada de tal modo que genera números aleatorios y comienza los cálculos desde el principio, hasta que el error es inferior al especificado. En el caso de una red neuronal natural este aspecto de la analogía formal con el ordenador podría fracasar; pues no es «programada» desde fuera, sino que ha ido adaptándose a lo largo de la evolución biológica a su entorno, de forma que puede reaccionar a él; lo cual, en el caso de los organismos superiores, y en especial de nosotros, los seres humanos, se hace intencionalmente.

4. **EL CONCEPTO DE INFORMACIÓN COMO PUENTE SEMÁNTICO**

Acto seguido, los neurocientíficos interpretan causalmente la analogía formal entre las neuronas entrelazadas electroquímicamente y los circuitos eléctricos conectados estocásticamente. Y afirman que el cerebro el cerebro se relaciona con sus rendimientos cognitivos, tales como la percepción del entorno, de manera similar a como lo hace el ordenador con la información que procesa; es decir, que la red neur(on)al produce en ambos casos información de manera

similar. Aquí el concepto de información actúa como un puente semántico. Los significados, que nosotros comprendemos, son identificados con la información del ordenador —en lo que no se tiene en cuenta que los ordenadores únicamente pueden procesar información por el hecho de que han sido programados por seres humanos para este fin—. Esta analogía sugiere que el acontecer neuronal produce fenómenos mentales tales como el aprendizaje, el reconocimiento de patrones o el recuerdo de manera similar a como una red neural artificial produce la información que procesa. Nuestro cerebro genera por tanto nuestras facultades cognitivas y nuestra conciencia de manera similiar a como un ordenador genera las informaciones que nos devuelve como resultados de los cálculos.

Esta analogía es criticada con frecuencia, aun cuando se basa en un método científico legítimo. Y así, por ejemplo Maxwell R. Bennett y Peter A. S. Hacker reprochan a las neurociencias desde la perspectiva de la filosofía del lenguaje el trabajar con metáforas allí donde se requeriría prudencia semántica a la hora de interpretar los resultados de la investigación empírica. Esto lo refieren a la identificación de cerebro y mente con un ordenador6. Pero desde la perspectiva de la filosofía de la ciencia no se trata simplemente de una metáfora, sino de una analogía. En el plano de las redes neuronales la analogía aguanta muy bien el peso; es primeramente en la ascensión desde el cerebro a la mente o la conciencia cuando resulta sobrecargada. La mera crítica del lenguaje no acierta con los métodos de las neurociencias; no puede mostrar con claridad dónde falla la analogía y dónde no. Esto lo muestra en primer lugar el análisis de la filosofía de la ciencia.

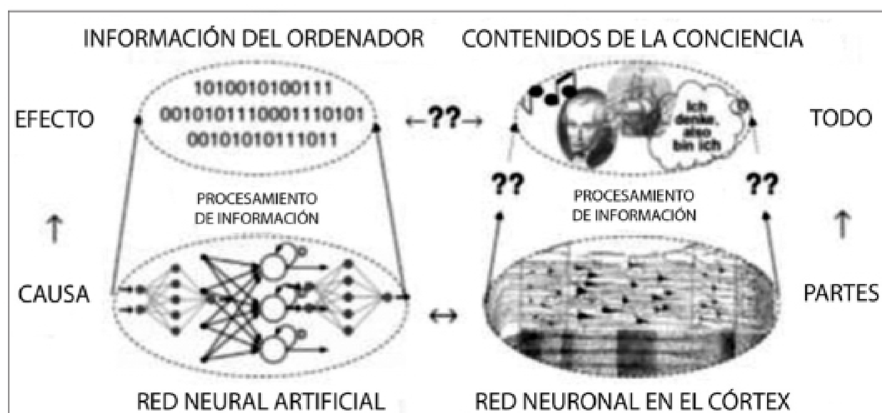


Figura 4. La analogía del procesamiento de información

La analogía del ordenador sirve para cerrar la brecha explicativa entre los fenómenos físicos y los mentales. Pero al hacerlo difumina tanto las diferencias entre los fenómenos mentales y físicos como también los límites de la explicación mecanicista usual. El concepto de información constituye el único puente semántico entre los fenómenos físicos y los mentales, y no contribuye en nada a una explicación causal. Un concepto puente así no sirve de soporte para ninguna explicación mecanicista en el sentido habitual. Conduce hacia un tipo de explicación científica (que según Albert Newen es nuevo7, pero en realidad es antiquísimo), que es más *débil* que todos los demás tipos de explicación científica: precisamente la inferencia analógica. La pregunta es ahora la siguiente: ¿Se trata realmente de una inferencia a la mejor explicación, que puede aclarar los fenómenos a la manera mecanicista *bottom-up*? ¿O más bien ocurre simplemente que no tenemos ninguna explicación mejor, es decir, que incluso la mejor explicación de que disponemos por el momento resulta que, por desgracia, no es lo bastante buena?

En el estado actual del conocimiento, la analogía entre el procesamiento de información por el ordenador o por la conciencia únicamente posee el estatuto de una hipótesis plausible. Las representaciones en clave de teoría de la información de cómo el cerebro genera los rendimientos cognitivos y la conciencia son buena heurística científica, es

decir, proporcionan líneas fructíferas de guía para la investigación. Pero lo que *no tienen* es *soporte empírico*. Incluso la neurofilósofa Patricia Churchland subraya ese carácter hipotético. Pero como de momento no existe ninguna explicación alternativa, ella piensa que la carga de la prueba recae más bien entre los *adversarios* que entre los partidarios de dicha hipótesis8. De acuerdo... ¡siempre que entendamos la analogía de modo heurístico, y no como buena moneda!

Rendimientos cognitivos como el reconocimiento de patrones o el aprendizaje se dejan simular muy bien, es decir, con una cuota de error baja. Su simulación podría ser bastante realista. También en el caso de las auténticas redes neuronales en el cerebro de los humanos y los animales de lo que se trata es de procesos de percepción y aprendizaje fiables; de forma que en ellos los procesos neuronales podrían, de hecho, desarrollarse de un modo bastante determinista. La analogía entre el procesamiento de información en un ordenador de funcionamiento en paralelo (o una red neural artificial) y el cerebro de un ser vivo (o las redes neuronales naturales en nuestro córtex) está completamente justificada por lo que se refiere a capacidades cognitivas tales como la percepción, el aprendizaje o el recuerdo. Pero no se puede transferir sin problemas a rendimientos mentales más complejos. Sobre todo no explica aquellas capacidades cognitivas nuestras en las que nuestro cerebro no trabaja de forma reproductiva, sino que nuestra conciencia desempeña un papel central como instancia planificadora activa. Y es que toda analogía tiene sus límites.

5. **LÍMITES DE LA EXPLICACIÓN MECANICISTA**

Una explicación mecanicista «respetable» no proporciona por tanto la semántica teórico-informacional. El mecanismo causal solo resulta bien conocido por lo que se refiere a la parte del ordenador en la analogía esbozada arriba, pero en modo alguno por lo que se refiere a la parte del cerebro. El supuesto de que la inferencia desde las redes neuronales a la información procesada en ellas nos enseña algo sobre cómo el cerebro genera la conciencia no es más que un simple argumento analógico como los que se empleaban con tanta frecuencia en los siglos XVII y

XVIII. Cuando Newton tomó partido por el atomismo pensaba que la naturaleza estaba estructurada esencialmente igual en lo pequeño que en lo grande. Desde el desarrollo de la teoría cuántica sabemos cuánto se había equivocado acerca de los átomos. ¿Por qué tendría que irles mejor a los neurocientíficos con la analogía de la información?

Y eso que la explicación mecanicista *bottom-up* funciona con mucha diferencia mejor en la transición desde los *quarks* a los protones y neutrones, los núcleos atómicos y los electrones, los átomos, las moléculas y los cuerpos materiales de nuestro mundo cotidiano que en la transición del cerebro a la conciencia. Los *quarks*, los átomos, las mesas y las sillas, los planetas, las estrellas y las galaxias poseen propiedades comunes medibles, como la masa o la energía; todas las masas y las energías en el universo, por grandes o pequeñas que sean, se pueden caracterizar por medio de valores en una misma escala de magnitud. Pero esto no se aplica a la red neuronal en su córtex y los pensamientos que usted tiene mientras lee estas líneas.

Lo especial en la investigación cerebral es que se ocupa de dos totalidades, el *cerebro* y la *mente* (o conciencia), e investiga las relaciones entre ambas. Hay filósofos que no defienden un dualismo de cuerpo y alma a la manera de Descartes, pero que tampoco interpretan esta relación de manera reduccionista, sino que piensan que la mente no se deja explicar *completamente* por el cerebro. Suelen indicar que las dos totalidades y sus partes son únicamente aspectos de una y la misma totalidad de orden superior, a saber, la persona9. Por el contrario, el enfoque reduccionista de las neurociencias cognitivas tiene como objetivo comprender la segunda totalidad, la mente o la conciencia, como compuesta de componentes según el modelo de la primera, y reducir cada uno de esos componentes a componentes cerebrales. Y así, muchos neurocientíficos distinguen entre dos tipos de componentes: en la parte física las áreas cerebrales y las neuronas; y en la parte mental los rendimientos cognitivos y sus componentes, que se ponen de manifiesto en las situaciones de pérdida de capacidad cognitiva.

Por el lado *físico*, los neurocientíficos investigan la anatomía del cerebro y la interacción de sus componentes: áreas cerebrales, capas y columnas de neuronas; neuronas individuales con sus ramificaciones; cuerpos celulares, dendritas, axones y sinapsis con sus procesos electroquímicos; y finalmente los diferentes neurotransmisores con sus funciones bioquímicas y mecanismos de acción. Por el lado *mental* estudian paralelamente las funciones cognitivas y sus fallos; y al mismo tiempo investigan sus correlatos *físicos* por medio de experimentos de estímulo y reacción y procedimientos de generación de imágenes. Todo esto ocurre en el marco del enfoque *top-down* de las neurociencias cognitivas, y debe ser explicado inversamente *bottomup* siguiendo el patrón de la acreditada explicación mecanicista.

En las transiciones *top-down* o *bottom-up* entre el cerebro y la mente no puede uno, sin embargo, considerar con sentido los correlatos físicos de los fenómenos mentales como *partes* de las funciones y disfunciones cognitivas del cerebro. En lugar de eso, las neurociencias cognitivas se concentran en las relaciones *causales* entre el cerebro y la mente, entre las causas neuronales y sus efectos mentales. En la «costura» entre la mente y el cerebro resulta por eso decisivo, en la dirección *top-down* el *análisis causal* de casos de enfermedad mental y experimentos de estímulo y respuesta. Ahora bien, la explicación *bottom-up* de la mente a partir del cerebro no puede entonces proporcionar ningún concepto causal preciso (Falkenburg 2012, cap. 6.), con fundamento físico, sino tan solo recurrir a una comprensión vaga y precientífica de la causalidad, de cara a relacionar la explicación de determinados rendimientos cognitivos por medio de mecanismos neuronales con la investigación de la conciencia. Para ello utiliza la palabra mágica «información», de cara a establecer un puente semántico entre el rendimiento calculador de un ordenador y nuestras capacidades cognitivas, con el ambicioso fin de explicar la conciencia.

La piedra de toque del proyecto de reducir los fenómenos mentales a sus causas físicas es en última instancia siempre la explicación de rendimientos cognitivos. Aquí puede el enfoque

bottom-up enumerar muchos éxitos impresionantes: una gran cantidad de conocimientos sobre las bases neuronales de la percepción, la memoria, el aprendizaje, la atención, el pensamiento, el lenguaje y la acción (Baars; Gage, 2007; Greenfield, 1997). Ellos motivan a los neurocientíficos hacia un enfoque integrador de las neurociencias cognitivas, que apunta hacia una ciencia abarcante del cerebro y la mente. Los resultados de los procesos de percepción y aprendizaje se dejan en parte predecir aproximadamente, dentro de este marco, si bien la explicación no posee una base determinista y tampoco carece de huecos. En el punto decisivo, con el concepto de información, recurre a una inferencia analógica, que cubre el hueco semántico que se abre entre las propiedades del cerebro y de la mente, entre los fenómenos físicos y los mentales.

6. ¿DEL CEREBRO A LA CONCIENCIA?

Los rendimientos explicativos *bottom-up* de las neurociencias son por consiguiente mucho más débiles que su modelo, las explicaciones mecanicistas de la física. Solo establecen vagos vínculos causales entre el cerebro y la mente, entre el acontecer neuronal y los rendimientos cognitivos, y entre sumamente interconectadas neuronas y la conciencia. En ninguna parte nos encontramos ante una explicación *completa*, que explicara *completamente* algún rendimiento mental a partir de la base neuronal. Por todas partes quedan huecos explicativos considerables. Para el más ambicioso objetivo explicativo, la transición de la actividad cerebral a la conciencia, el concepto de información sirve de puente semántico, para explicar los rendimientos cognitivos del cerebro por medio de mecanismos neuronales de forma análoga a los rendimientos de cálculo del ordenador. Pero precisamente esto no es *ninguna* explicación mecanicista en el sentido habitual. La conexión causal entre aquello que debe ser aclarado por medio del mecanismo, o sea, la función del procesamiento de la información, y la instancia explicativa, o sea, los componentes causales del mecanismo, está clara aquí solo por lo que se refiere al ordenador, pero no al cerebro.

La explicación teorético-informacional depende de la solidez

de la analogía entre las redes neuronales naturales y las redes neurales artificiales. Pero estas últimas no pueden modelar de manera muy realista a las primeras, porque la arquitectura cerebral y la arquitectura de los ordenadores se diferencian drásticamente. La analogía se mantiene o cae dependiendo de si se pudieran identificar los componentes de un mecanismo neuronal en el cerebro —y no solo en un modelo de ordenador—. Pero esto es muy problemático, después de todos los descubrimientos sobre la plasticidad, la conexión en red y la multifuncionalidad de las áreas cerebrales. Naturalmente, también aquí tiene la analogía su valor heurístico. Pero sin embargo no debe olvidarse que el concepto de información recibe un significado completamente diferente cuando se aplica a contenidos de la conciencia. Hacer esto solo tiene, de nuevo, una función heurística, por ejemplo de cara a investigar fenómenos de la atención, que se encuentran estrechamente relacionados con la conciencia.

Pero hasta ahora no hay ninguna teoría empíricamente comprobable que pudiera explicar cómo surge la conciencia. Una teoría semejante debería indicar no solo condiciones *necesarias* sino también condiciones *suficientes* comprobables para el surgimiento de la conciencia. Y la investigación neurocientífica se encuentra bien lejos de eso.

Por qué la delgada capa de pocos milímetros y gran complejidad de células nerviosas debajo de nuestros cráneos constituye la «sustancia pensante» en nosotros, no lo explica ni la teoría de las redes neurales, ni un modelo de ordenador de la mente, ni ningún enfoque de los neurocientíficos y neurofilósofos que vaya más allá de estos. Los propios neurocientíficos subrayan que mediante el enfoque *bottom-up* hasta ahora poco se ha comprendido del *plano medio* de las grandes asociaciones de neuronas y su actividad10. Ellos consideran esto como un problema de *complejidad*. Ahora bien, nadie sabe cómo puede conseguir el córtex generar conciencia por medio del disparo de miles de millones de neuronas complejamente interconectadas. No puedo entrar aquí a considerar las distintas teorías sobre cómo podría el cerebro

generar la conciencia. Únicamente quiero mostrar, por medio de tres enfoques, con qué problemas básicos se encuentra aquí la explicación mecanicista habitual

6.1. **¿EL ESPEJISMO DEL YO?**

El supuesto de que la relación entre cerebro y mente se deja explicar a la manera mecanicista conduce a la falacia mecanicista de considerar que los rendimientos cognitivos son componentes mentales de la conciencia más o menos en el mismo sentido en que las áreas cerebrales el córtex y las células nerviosas que lo componen son componentes del cerebro. Los neurocientíficos transfieren una visión «modular» o atomística del cerebro a la mente... y concluyen de ahí que la conciencia, *como tal*, no existe en modo alguno. Cito a Gerhard Roth:

> Sobre la base de la auto-observación, de los experimentos con sujetos humanos y del estudio de las consecuencias de las heridas y enfermedades del cerebro, llegamos a la conclusión de que la conciencia no existe en modo alguno. La conciencia es más bien un paquete de estados muy diferentes en su contenido, que tienen en común en primer lugar el que son experimentados conscientemente, en segundo lugar el que su vivencia es inmediata, es decir, sin ninguna instancia intermedia, y en tercer lugar el que se puede informar sobre ellas verbalmente (Roth, 2006: 23)11.
>
> Esto conduce a la concepción de que estas formas de conciencia consisten en unidades funcionales o «módulos» más o menos independientes (Roth, 2009: 131s.).

En el caso de los fallos neurológicos, como los que describe, entre otros, Oliver Sacks en sus libros (Sacks, 2001), aparecen troceadas las facultades mentales. Solo funcionan de modo parcial en los pacientes afectados. Lo que se ha hecho pedazos ahí, o se muestra como «modular», son facultades cognitivas tales como la capacidad lingüística, o incluso la conciencia del yo. O sea: la mente. Algunos «módulos» cognitivos se han mantenido y otros se han destruido. Algunos neurocientíficos

concluyen de ahí que las habilidades cognitivas, que nosotros normalmente experimentamos como una unidad, se constituyen de componentes que pueden dejar en parte de funcionar debido a un daño cerebral y en los que se disecciona la conciencia. Los componentes de la conciencia que pueden dejar de funcionar, y la conciencia experimentada como un todo, son entendidos así en el sentido de una relación de partes/todo. El que se aproxima a la conciencia de este modo, lo hace —apoyado por diagnósticos de enfermedades— con el «bisturí» del método analítico-sintético. En otro lugar he criticado por extenso la teoría del paquete de la conciencia que resulta de ahí (Falkenburg, 2012: 199-209). Lo que no explica es cómo surge la unidad de la conciencia, que incluso en el caso de disfunciones cognitivas preocupantes se mantiene la mayoría de las veces.

Seguramente ningún neurocientífico considera en serio que la conciencia se compone de componentes cognitivos de modo similar a como lo hace el átomo de electrones, protones y neutrones, o como el Sistema Solar se compone del Sol, los planetas, las lunas, los asteroides y los cometas. Sin embargo, a partir de las áreas cerebrales dañadas en los casos de fallos cognitivos infieren los correspondientes componentes de la conciencia, y tienden además a considerar el yo como un espejismo. Pero en este caso no podemos realmente hablar de la estructura usual de una explicación mecanicista.

6.2. **El problema de la ligadura**

Además, aplican el tipo esbozado de explicación mecanicista a la relación entre el cerebro y la mente y preguntan, partiendo de las neuronas como componentes decisivos del córtex, cómo puede un sistema ligado de neuronas producir la conciencia. En especial, muchos neurocientíficos suponen la existencia de un mecanismo que produce la conciencia por medio de la conexión en red de neuronas que disparan simultáneamente y hablan del «problema de la ligadura».

El problema de la ligadura consiste en que los neurocientíficos quieren identificar neuronas conectadas en red que constituyan algo parecido a los componentes de un sistema

dinámico ligado. Aquí ejerce de padrino el ideal físico de los sistemas de muchas partículas: Lo que se busca es el mecanismo de ligadura que explique qué componentes de un mecanismo neuronal en el cerebro cooperan, cómo lo hacen, y por qué en asociaciones de neuronas altamente conectadas en red aparecen propiedades de un nivel superior, que *no* aparecen al nivel de las neuronas individuales. Esas propiedades de nivel superior son emergentes, es decir, se encuentran solamente en los niveles superiores de organización, pero no en los inferiores, y sin embargo *de algún modo* son producidas por estos últimos. La propiedad emergente de la que se trata aquí es la conciencia.

Algo así existe ya en la física. Los electrones individuales no tienen ningún color; pero sus interacciones en el interior del átomo dan lugar a que cuantos de luz de colores sean absorbidos o emitidos. Como resultado, hay cuantos de luz como «portadores» medibles de los colores... por efímero que resulte el campo cuántico del que se originan. El color se corresponde con la energía y la energía es una magnitud sometida a ley de conservación, de manera que en todos los procesos físicos se conserva como una especie de «sustancia». Ahora bien, ¿hasta dónde se sostiene este ideal por lo que respecta a la red neuronal en nuestra cabeza? Convertir aquí en responsables a las *propiedades cuánticas* de la materia cerebral es hacer metafísica de la más especulativa, si es que no es incluso incurrir en un error categorial (Ruhnau, 2005: 213). La conciencia —como capacidad de experimentar algo desde una perspectiva subjetiva— es fenomenológicamente algo completamente diferente a propiedades físicas como el color o la energía, que —con teoría cuántica o sin ella— se dejan objetivar y medir; y aquí radica el problema de la reducción que afecta a la investigación del cerebro.

La física proporciona aún otros ejemplos, como pueda ser el de la temperatura. Un único átomo o partícula subatómica no tiene ninguna temperatura, sino energía. Puede disparar un *flash* o puede dejar una huella en un detector, pero no se siente caliente. El calor o la temperatura es una propiedad emergente de gases, fluidos y cuerpos sólidos, es decir, de agrupaciones

macroscópicas de partículas. Subsisten huecos explicativos entre la descripción de las partículas y la descripción de las formaciones macroscópicas que se componen de ellas; pero, como ya se ha indicado, hay magnitudes que se conservan en el sistema como la masa y la energía, y ellas constituyen un pilar central de la explicación mecanicista. Usted podría indicar su peso lo mismo en masas protónicas que en kilogramos. Es solo que entonces tendría un valor astronómico.

En los ejemplos de la física, los mecanismos de ligadura se conocen en principio. Los huecos explicativos que subsisten tienen que ver con las peculiaridades de la teoría cuántica y con el comportamiento de los sistemas complejos. Dejemos aquí los problemas de ligadura en la física (que están resueltos en su mayor parte, aunque no en su totalidad). También en niveles superiores de organización de la materia interaccionan los componentes de los sistemas ligados según mecanismos conocidos básicamente. No obstante, desde la química pasando por la bioquímica hasta la auto-organización de los organismos, los problemas de ligadura se van volviendo más difíciles. Los mecanismos biológicos de la formación celular, de la integración de las células individuales en los organismos multicelulares y de la formación de organismos superiores por medio de la evolución biológica son únicamente conocidos en parte, por no decir nada de la emergencia de la conciencia. De peldaño a peldaño las explicaciones van teniendo cada vez más huecos, y el problema correspondiente de la ligadura se va haciendo mayor… hasta llegar al problema de la ligadura en las neurociencias cognitivas, que designa un gigantesco hueco explicativo.

Numerosos neurocientíficos consideran que el problema de la ligadura es puramente teorético-informacional, y no un problema dinámico que tuviera modelos en los sistemas ligados de la física, en las ligaduras químicas o en los mecanismos biológicos de la formación celular. La palabra mágica «información» les parece que barre a un lado todas las preguntas por los mecanismos de ligadura físicos que pudieran mantener unida una red neuronal y sus específicas funciones cognitivas. Y

así esperan resolver el problema de la ligadura por medio de simulaciones de ordenador… como si la emergencia de la conciencia a partir de la red neuronal del córtex fuera un problema del mismo tipo que el despliegue de las proteínas a partir de los aminoácidos.

6.3. **¿UN TRANSICIÓN DE FASE?**

Wolf Singer considera el disparo sincrónico de neuronas coordinadas como la causa más plausible de que los rendimientos cognitivos se vuelvan conscientes. Él ha desarrollado (más) la hipótesis de que una enorme agrupación de neuronas disparando sincrónicamente puede producir la conciencia por medio de una especie de «transición de fase» (Singer, 2002: 176 ss.). De hecho, las transiciones de fase de la física —es decir, las transiciones del estado sólido al estado líquido, o del estado líquido al estado gaseoso de un material— constituyen buenos ejemplos de propiedades emergentes de agrupaciones macroscópicas de átomos, que tienen lugar bajo determinadas condiciones termodinámicas, y que no pueden deriverse *per se* de los microestados de los átomos y las moléculas. De nuevo entra aquí en juego la relación todo/partes. Que el todo es más que la suma de sus partes resulta válido para los sistemas físicos complejos, y es casi un lugar común por lo que a ellos se refiere.

Pero lo que ocurre es que la comparación entre la física y las neurociencias cognitivas cojea manifiestamente. Las transiciones de fase de la física conducen a *diversas* formas de organización del *mismo* nivel de organización, por ejemplo hielo en agua o agua en vapor de agua. Pero *no* convierten átomos o moléculas en cuerpos sólidos, líquidos o gaseosos. Cuando Singer evoca la «transición de fase» que ha de conducir desde el disparo coherente de las neuronas a la conciencia, ahí ya no está funcionando ninguna analogía, sino que verdaderamente no hay más que una metáfora.

Una metáfora consiste en transladar una conocida expresión lingüística a un nuevo contexto, en el que expresa algo diferente a lo que expresaba en el contexto original, pero de tal modo que este «tiñe» semánticamente el nuevo contexto. Y justo eso es lo

que ocurre aquí al hablar de transición de fase. El contexto original es la relación todo/partes entre un material y sus componentes microscópicos. Una transición de fase consiste en que las partes (átomos, moléculas) se integran en el todo de forma diferente, por medio de un mecanismo de ligadura más ajustado o más suelto, que le presta al todo nuevas propiedades macroscópicas, como el ser gaseoso en lugar de líquido. La expresión se refiere a una transición de un fenómeno físico a otro distinto. El nuevo contexto de Singer es la relación entre cerebro y mente, neuronas y vivencia subjetiva. Ahí la expresión «transición de fase» expresa algo completamente diferente que en el contexto original, a saber, una transición entre fenómenos físicos y mentales. Sin embargo, el viejo contexto tiñe el nuevo; la expresión «transición de fase» sugiere que no se trata de nada más que de una transición entre una ligadura más relajada y otra más estrecha de las neuronas.

7. **CONCLUSIÓN**

Mi conclusión de estas reflexiones es que las explicaciones mecanicistas de la física, la química y la biología resultan insuficientes para explicar el origen de la conciencia en el cerebro y que igualmente el rendimiento explicativo del enfoque teorético-informacional deja muchísimo que desear. Queda manifiesto que, para seguirle la pista al fenómeno de la conciencia, no basta con emplear los acreditados métodos explicativos *top-down* y *bottom-up*, para pasar sin freno de allá para acá entre el cerebro y la mente, las actividades neuronales y la conciencia, así como el procesamiento de información de ordenador y nuestro entender consciente. Sin una reflexión metódica y la búsqueda crítica de formas de pensar completamente nuevas posiblemente no se va a avanzar más aquí. En esto podrían los neurocientíficos tomar a los físicos como modelo, no solo metodológico, sino también filosófico. Como muestra el desarrollo de la física desde Galileo y Newton hasta Einstein y Bohr, las revoluciones científicas no se consiguen baratas. En ellas son puestos a prueba los fundamentos previos del conocimiento, y esto exige profundas reflexiones de teoría del conocimiento y discusiones básicas de

filosofía.

---

1 Traducción de Francisco Soler Gil.
2 Una extensa revisión puede encontrarse en Falkenburg, 2012. El presente texto está basado en esa obra, y en especial en los capítulos 6 y 7 de la misma.
3 La mereología es la teoría sobre el todo y sus partes. La mayor parte de las veces uno no trata con componentes «últimos», de manera que el término «mereológico» sería más preciso que el término «atomístico»... pero desgraciadamente también menos pregnante. En lo que sigue emplearé ambos conceptos en gran medida como sinónimos.
4 Una definición similar se encuentra en Craver, 2007: 5.
5 La mecánica cuántica —y con ello también la termodinámica, para cuya fundamentación no basta con la mecánica clásica— describe la naturaleza por medio de leyes probabilísticas. Los procesos cuánticos individuales se desarrollan de manera indeterminista; sus resultados se basan en un azar objetivo. El que afirma lo contrario se ve obligado a «rebasar» la mecánica cuántica con la asunción de supuestos metafísicos tales como los «parámetros ocultos» o los «muchos mundos». He explicado por qué esto no me parece plausible en Falkenburg, 2012: cap. 5.
6 Véase Bennett; Hacker, 2003: 141 y Bennett; Hacker, 2008: 76.
7 Newen, 2000: 21 ss.; compárese con Falkenburg, 2012: 311.
8 Churchland, 2005, considera esa hipótesis como empírica, es decir, falsificable.
9 Por ejemplo Bennett y Hacker, 2003, o también Fuchs, 2010.
10 Según Roth, 2009: 143, aquí faltan posibilidades experimentales *y* modelos teóricos. Según Greenfield, 2003, resulta por ello difícil «reconciliar mutuamente» los enfoques *top-down* y *bottom-up*, «ya que esto significaría sacar consecuencias de un acontecimiento en una única sinapsis para una función del cerebro», pero el cerebro es demasiado complejo para eso. Greenfield, 2003: 109 ss.
11 De modo parecido se expresa Ramachandran, 2003: 111 ss.

XI. **Hombre y Naturaleza**

Francisco Rodríguez Valls
Universidad de Sevilla

Las dimensiones de la relación entre ser humano y naturaleza son tres: una científico-natural, una ontológica y otra ética. La primera estudia la constitución física y biológica de la especie humana y cae bajo lo que tradicionalmente se ha denominado proceso de hominización. La segunda trata de cuál es la constitución esencial de lo humano y si posee una naturaleza compacta y consistente o es íntegramente producto de la cultura; parte de esas relaciones se han denominado como proceso de humanización y su discusión ha atravesado todo el siglo veinte bajo los términos de relativismo cultural o substancialismo humano, posiciones entre las que —según algunos autores— habría que optar. La tercera abarca las relaciones prácticas del hombre con su medio natural: ¿es el hombre su dueño, su cuidador o su esclavo? Es el tema de la Filosofía de la Ecología. Esas tres dimensiones son las que van a ser sucintamente abordadas en este capítulo y las que van a articular su estructura.

Cabe hacer una advertencia que es, por un lado, metodológica y, por otra, epistemológica: la génesis de lo humano está impregnada tanto de naturaleza como de cultura, la hominización y la humanización se retroalimentan y solo por medio del análisis podemos llegar a ver cómo repercute una en otra. Separarlas es difícil y únicamente por el motivo de que el intelecto humano es limitado y necesita ver una cosa tras otra —y no puede hacerse una idea cabal contemplando una totalidad indiferenciada— debemos aplicarnos a ello. En el caso de lo humano, de su génesis, de su aparición en la tierra dentro de la escala de los seres vivos, es necesario apelar a una cierta dialéctica de su formación o, si se prefiere, a una repercusión de la naturaleza propia de lo humano en la aparición de la cultura y a una clara influencia de la cultura en la constitución morfológica de nuestra especie: el bipedismo y la liberación de

las manos tienen consecuencias culturales evidentes y este éxito cultural repercute no solo en el reforzamiento de esas características corporales sino en el surgimiento de otras que, por poner algún ejemplo, llevan a la cerebración creciente. Se entrará un poco en detalle en estas páginas, pero lo relevante metodológicamente hablando es que separar hominización y humanización es una argucia del entendimiento finito para aclararse ante la complejidad del único proceso de aparición de lo humano. El ser humano es una unidad biocultural (Ramírez Goicoechea, 2013).

1. NATURALEZA Y GÉNESIS FÍSICA DE LO HUMANO. EL PROCESO DE HOMINIZACIÓN

El reputado y polémico antropólogo americano Marvin Harris comienza el primer capítulo de su obra *Nuestra especie* (Harris, 1995) con la siguiente afirmación: «En un principio era el pie». Esa frase, de indudable resonancia bíblica, nos sitúa ante un doble hecho: el ser humano forma parte de la evolución de la vida en la tierra, es un ente biológico, y, segundo, su peculiaridad le hace digno de una especial consideración aunque solo sea porque, en la actualidad, es la especie viva dominante.

Es cierto que, por su trascendencia, el origen fue la bipedestación: posiblemente un cambio climático que menguó la arboleda selvática hizo que nuestros antepasados se encontraran con una sabana que les obligaba a bajar de los árboles y a ponerse erguidos para dominar mejor el horizonte anticipándose a los depredadores y favoreciendo la búsqueda de alimento. Fueron las leyes de la evolución biológica las que propiciaron las transformaciones somáticas necesarias para que el homínido recién aparecido se pudiera mantener constantemente erguido durante la vigilia. Y para eso se necesita una transformación no pequeña de toda la estructura corporal.

En primer lugar está la naturaleza del pie mismo. Frente a la extremidad inferior de un arborícola, el pie humano tiene el pulgar paralelo a los otros cuatro dedos y la planta constituida con un arco que permite un andar indoloro si se apoya sobre él todo el peso del cuerpo. Ambas características contribuyen de

manera poderosa a que el ser que las posee pueda sustentarse sobre el pie de manera constante y no como el resto de los primates. Ciertamente algunas especies de primates, especialmente para la lucha o el cortejo, tienden a sostenerse sobre las extremidades inferiores, pero no pueden hacerlo durante mucho tiempo y, cuando lo hacen, su andar es torpe. Sin embargo, el andar humano es grácil y seguro. En el ser humano hay una clara distinción entre mano y pie.

En segundo lugar, para que la bipedestación sea efectiva, tiene que producirse también una alteración en la estructura de la pelvis. La pelvis se torsiona y fortalece de tal manera que hace posible que la pesada parte superior del cuerpo descanse sobre ella. La pelvis humana es más gruesa que la del resto de los primates y su torsión tiene también como consecuencia que el canal del parto deja de ser trasero y el nacimiento se complica, especialmente cuando los cerebros de los bebés alcanzan un tamaño considerable que va a requerir que la maduración del resto de su cuerpo necesite mucho tiempo en un desarrollo extrauterino que no se produce en ningún otro mamífero. No sería exagerado decir que el embarazo, dentro de una evidente diferenciación del resto de los órganos, favorece sobre todo la formación de un gran cerebro que condiciona que el ser humano tenga que pasar una larga infancia hasta que es capaz de valerse por sí mismo. Por supuesto, toda la estructura ósea y muscular de la pierna y de la pelvis sufre evidentes modificaciones. Por ejemplo, mientras que en los primates la conexión del fémur y de la tibia y del peroné con la rodilla es prácticamente recta, en los homínidos requiere unos ángulos precisos para que la articulación soporte el peso del cuerpo. Respecto a la musculación, lo más llamativo es el fortalecimiento de la musculatura de la verticalidad presente, por ejemplo, en el considerable aumento de los glúteos.

En tercer lugar, la verticalidad requiere una peculiar estructura de la espalda, de la columna vertebral, con su doble flexión característica de los humanos, y, especialmente, el encaje con la base del cráneo. Es peculiar del *homo sapiens* que la columna encaje en el *Foramen Magnum* (literalmente «Gran

Agujero») formando con él un ángulo de noventa grados. Esa característica es prácticamente suya y no hay apenas otros seres vivos que la posean.

Las anteriores son las características morfológicas de la verticalidad humana pero, evidentemente, no son las únicas propias de nuestra especie ya que, si en el principio fue el pie, en segundo lugar fue la mano o, mejor dicho, la liberación de la mano. La mano es un elemento fundamental puesto que con ella el ser humano ha construido la cultura. Si la mente idea la cultura, la mano la realiza o la transcribe materialmente. Es el instrumento por antonomasia, aquel que directamente se enfrenta al medio natural o que construye la totalidad de los otros instrumentos. La peculiaridad de su estructura, las relaciones entre la palma y la longitud de los dedos y, especialmente, la armonía que con ellas guarda el pulgar oponible, la convierten en la herramienta de las herramientas, un utensilio capaz de motricidad fina que permite al ser humano plasmar con detalles sus ocurrencias. El ser humano se encuentra con un par de manos que con la bipedestación dejan de ser puntos de apoyo para la locomoción y a las que tiene que emplear dotándolas de nuevo sentido. En esta relación se sustenta la clásica tesis que afirmaba que el nacimiento de la inteligencia de los humanos se debía al diálogo mano-cerebro: la mente tiene que dotar de sentido a sus nuevas herramientas y, a la vez, la actividad de las manos muestra su utilidad creciente a la inteligencia. Claro que morfológicamente la liberación de las manos entraña otro conjunto de consecuencias a las que también hay que prestar atención. Por ejemplo, hay que detenerse cuidadosamente en la liberación de la boca como órgano encargado del transporte del alimento y su reducción a ser, funcionalmente hablando y en primera instancia, mero órgano masticador. La reducción de la musculatura del cuello y de la cara debido a esa circunstancia posibilita la aparición de un rostro como el humano y —acompañada de la estructura propia que posee la garganta— la emisión de fonemas similares a los que hoy podemos emitir. Ello, junto con la reducción de los músculos temporales, permite que el cerebro —antes

constreñido dentro de un cráneo aprisionado por una musculatura fuerte— pueda expandirse si a ello se le unen, por ejemplo, cambios en la dieta que supongan un aporte importante de proteínas.

La relación específica que se ha explicado entre pie-mano-garganta-cerebro y sus interacciones son la base de por qué surge lo humano. Hasta ahora hemos visto condiciones estrictamente morfológicas, pero faltan por tratar elementos de comportamiento que tienen consecuencias en la aparición de un cuerpo como el humano. Esos elementos de comportamiento tienen que ver con lo que filosóficamente se ha dado en llamar la distancia entre lo humano y su medio natural o, dicho con otras palabras, su falta de ajuste a él. Eso le permite abarcar o adaptarse a diferentes medios naturales sin excesivos problemas. El ser humano aparece así como un ser inespecializado o esencialmente abierto que tiene que procurarse conscientemente los mecanismos de ajuste perfecto con su medio natural: tiene que construirlos porque corporalmente le faltan recursos de supervivencia. Por eso se le ha denominado filosóficamente como *faber*, es decir, hacedor o fabricante, y a eso es a lo que cabalmente, aunque sin precisiones que se realizarán en el punto siguiente, puede decirse que es en lo que consiste la cultura. Rasgos de indeterminación son, por poner ejemplos, la capacidad que tiene su aparato digestivo de asimilar nutrientes de tal manera que es, sin duda, el más omnívoro de entre todos los seres vivos; su capacidad de soportar la variación de temperaturas es otra característica que le ha permitido salir de un hábitat concreto y poder enraizarse en muchos o bien proseguir una expedición que le ha llevado a los confines del mundo (Choza, 1988). El problema de la falta de especialización ha hecho que algunos autores —como Plessner o Gehlen— hayan dicho que el ser humano era un animal biológicamente inviable. Y razón no les falta porque corporalmente no puede competir con ninguno de los que podríamos llamar «ajustados»: su capacidad de carrera para huir o perseguir es limitada, al igual que su capacidad de salto o camuflaje. El desajuste tiene que ser cumplido a través de la fabricación de instrumentos o,

más en general, a través de la «búsqueda» de cobijo, de materiales con los que extraer raíces o con los que poder descarnar una carroña o cazar y pescar otras presas tanto grandes como pequeñas. Algunos autores han señalado que sería esa la principal cualidad de lo humano: su curiosidad (Diosdado, 2010). Una curiosidad aplicada en primer lugar a la supervivencia biológica y, posteriormente, a lo que hace vivir bien o, sencillamente, comprender el Universo en el que se vive. La curiosidad es la base de la investigación y va desde el acercamiento para observar cualquier fenómeno sencillo hasta el intento de construir grandes teorías científicas. Es lo que le lleva desde la simple supervivencia a la contemplación poética y científica de las estrellas.

¿Cuándo se produjo la aparición de lo humano? Esa es otra de las preguntas fundamentales a las que la ciencia ha dado algunas respuestas parciales (López Moratalla, 2007). Según lo que hoy se sabe, el lugar de aparición de los homínidos es África y su tiempo hace siete millones de años. Según los datos derivados de la genética, la separación del homínido del resto de los primates se produce en esa fecha y, de hecho, los fósiles más antiguos encontrados —los correspondientes a *Sahelanthropus*— así lo demuestran fehacientemente. Lo que puede decirse, derivado igualmente de los datos de la paleoantropología, es que no hay una línea perfectamente continua que lleva al *homo sapiens* sino que lo que existe es una pluralidad de líneas de especies de homínidos de las que solo la nuestra ha llegado hasta hoy día. Por decirlo de una manera poco ortodoxa darwinistamente hablando: el camino por el que la conciencia se procura un cuerpo adecuado no es único sino múltiple. Sí, parece que de una de las múltiples especies de austrolopitecinos surgió el *homo habilis* y que a partir de él comenzó el proceso que antes se ha indicado y en el que se aprecia, entre otras características —por hablar generalizando mucho—, una cerebración creciente y una técnica también creciente. La paleoantropología tiene aún mucho que decir respecto del origen y evolución de lo humano puesto que es una disciplina científica reciente y el número de excavaciones

realizadas es —comparativamente a la experimentación realizada en otras áreas— reducida. Muchas de las explicaciones sobre las líneas evolutivas que llevan a lo humano están continuamente cambiando al depender de los nuevos fósiles que se van publicando. Por ello no es útil hacer aquí una exposición minuciosa del panorama actual puesto que puede verse modificado mañana mismo. Sin embargo, puede ser un acierto dar algunas referencias estables de algunas especies que han sido bien estudiadas.

Está claro que el *dryopithecus* es un simio, anterior a la diversificación de homínidos y grandes primates, que aparece alrededor de hace veinte millones de años (Kurtén, 1996). También lo es que *sahelanthropus* es un tipo ya de homínido claramente diferenciado de los grandes primates que se ha datado entre siete y seis y medio millones de años. Es anterior a los primeros *australopithecus*, aparecidos en torno a unos cuatro millones de años y de los que con bastante probabilidad surgirían hace unos dos millones de años los primeros *homo*. De entre los australopitecinos se separaría una o varias ramas que darían lugar a varias especies que acabaron extinguiéndose y a las que se conoce con el nombre de parántropos. Las especies de *australopithecus* más estudiadas han sido el *anamensis*, el *afarensis* y el *gracilis*. De este último provenga, quizás, la línea que llevó al primer *homo habilis*. Y es respecto de esta especie donde se halla un tema de interés filosófico especialmente relevante: ¿por qué a los *australopithecus*, bípedos, no se les considera *homo* y al *habilis* sí? Y la respuesta supera la mera morfología y se refiere a la técnica: el *habilis* construía herramientas o, mejor dicho, es el primero del que tenemos constancia de que las construyera. Posiblemente las especies anteriores de homínidos —entendiendo por ellos los primates que andan erguidos— utilizaban herramientas para obtener raíces y bulbos o para ahuyentar a otros animales, pero tenemos que quedarnos en el nivel de la mera suposición puesto que no tenemos pruebas. Pero es que, además, en el caso del *habilis* no solo se usan sino que fehacientemente se construyen. Tal es la importancia de este hecho, que el descubridor de la especie,

Louis Leakey, la denominó antes de encontrar los fósiles puesto que su zona de excavación en Olduvai estaba llena de herramientas líticas únicas hasta ese momento y con esa antigüedad. Desde sus inicios la paleoantropología ha asociado lo propiamente humano con la construcción de herramientas y, aunque mucho se haya descubierto y pensado en etología desde los años veinte, sin embargo, esa intuición es excelente para un comienzo. Lo humano se pone en relación con la construcción y la transformación del medio ambiente a través de mediaciones culturales que son extrasomáticas: ya no es la garra o el diente el que caza, sino el hacha o la lanza. Y esto lo encontramos sin duda a partir del *habilis* y supone un nuevo comienzo de la historia evolutiva que se va a caracterizar no solo por la mejora de las cualidades naturales de adaptación al medio sino por el nacimiento y desarrollo de la cultura y de lo que realmente va a ser una revolución cultural debido al crecimiento exponencial de los instrumentos y a su importancia básica en la vida de los *homo* (Arsuaga, 1998).

La industria lítica de los *habilis* es denominada modo I o olduvaiense y va a mantenerse idéntica hasta que *homo ergaster*, aparecido hace uno con nueve millones de años, construye el llamado modo II o achelense alrededor de hace uno con seis millones de años. Se asocia también con este último el uso del fuego. El caso del *ergaster* es peculiar ya que existe constancia de que fue el primero que se aventuró a salir de África. Desconocemos por qué: ¿cambio climático, presión demográfica, curiosidad? El hecho es que con su marcha inicia la conquista del mundo entero y dará lugar a otras especies de *homo* que ya no van a ser únicamente africanas. Especies importantes al respecto serán *homo erectus, homo antecessor, homo heidelbergensis* y *homo neanderthalensis*. Todas esas formas se parecen más a un humano moderno que a un primate y, evidentemente, guardan un estrecho parentesco entre sí. Respecto a la industria lítica, la diferencia la introducen los neandertales mediante la utilización del modo III o musteriense, modo que también comenzará utilizando el *homo sapiens* hasta que fabrica el modo IV auriñaciense que, por intercambio con

ellos, será el que acabe utilizando también el *neandertal*.

El *homo sapiens* es una especie africana derivada, probablemente, del *homo ergaster* que permaneció en África, y apareció hace alrededor de doscientos mil años. O quizás proviene de alguna especie derivada del *ergaster* pero que, igualmente, existía en África. Esa es la tesis habitual que expresa que todos los seres humanos procedemos de un mismo grupo reducido de *sapiens*. Hoy en día se postula como más coherente la tesis monogenista. Esa afirmación viene probada además por la presencia de un mismo ADN mitocondrial en toda la especie humana. Hoy se concibe la procedencia de todos los humanos de una misma hembra a la que se conoce con el nombre de *Eva Negra* (Ingmann, 2000). Las relaciones con los neandertales son especialmente importantes en la historia del *sapiens*. El *neandertal* es una especie típicamente europea con la que la nuestra compartió hábitat y que se extinguió por causas muy discutidas (¿cambio climático, presión demográfica por parte del *sapiens*?) hace alrededor de treinta mil años. Lo que parece claro es que entre las dos especies se produjeron intercambios de herramientas y comercio de mercancías así como de mujeres y, en general, de población. Hasta hace muy poco se dudaba de que realmente hubiera habido una cierta hibridación con el *neandertal*, pero en los últimos años este hecho ha quedado fuera de toda duda. Es verdad que no hay rastro de genoma *neandertal* en el ADN mitocondrial del *homo sapiens*, pero sí lo hay en el ADN nuclear. Eso quiere decir que, posiblemente, la hibridación entre mujer *neandertal* y hombre *sapiens* fuera estéril, pero no en el caso de madre *sapiens* y padre *neandertal*. En cualquier caso, y dejando aparte el hecho, todavía queda mucho que decir sobre esta cuestión y dirigida hacia su explicación van encaminadas las investigaciones más recientes.

Es conveniente terminar el punto con una afirmación de suyo obvia pero que no se ha subrayado suficientemente en lo anteriormente expuesto: el *homo sapiens* y los homínidos en general son especies radicalmente sociales. En nuestro caso, además, la infancia se alarga mucho por la necesidad de maduración corporal extrauterina. Pero esa infancia prolongada

implica que la cantidad de aprendizaje sea mucho mayor en nuestra especie que en cualquier otra y que, además, si no fuera por ello, la posibilidad de supervivencia hubiese sido mucho más reducida. La necesidad del cuidado de las crías implica también la necesidad de una división del trabajo y una complicación de las relaciones sociales que va a ser decisiva en aspectos tan importantes como el nacimiento del lenguaje. Y es que la acumulación de conocimientos en la que consiste la tradición va a sobrepasar lo meramente impuesto por la biología y convertirá al humano en una especie que viva por la cultura.

2. NATURALEZA Y GÉNESIS CULTURAL DE LO HUMANO. EL PROCESO DE HUMANIZACIÓN

La falta de instinto, es decir, de una respuesta prefijada automáticamente por los genes a los estímulos del medio, hace que el ser humano tenga que aprender las respuestas que tiene que dar a la pluralidad de posibilidades de acción que se le ofrecen. Ese aprendizaje puede ser por asimilación de una tradición cultural previa o por creación del propio sujeto. Generalmente se deberá más a la primera que a la segunda debido al marcado carácter social del ser humano y a su frecuente incardinación dentro de una comunidad familiar que es donde se genera la conciencia individual y se aprenden multitud de contenidos previos a la génesis de la misma conciencia. Esta era la tesis, al menos, que sostenía el difusionismo cultural de la primera mitad del siglo XX: es más probable la expansión de un rasgo cultural a muchos territorios que su invención simultánea en todos ellos. La comunidad de esos rasgos dará lugar a áreas culturales diversas que se diferenciarán en tanto que sus medios ambientes son distintos o bien porque sus diferentes costumbres son igualmente efectivas y útiles.

Lo que se aprende en una cultura o se crea por parte del individuo son un conjunto de técnicas, de normas de comportamiento y de símbolos que el ser humano no conoce de forma natural y, por ello, tiene que crearlos por medio del arte, es decir, de un concebirlas anticipadamente de forma ideal para ver su eficacia en el plano real. El ser humano tiene que crear

extrasomáticamente un conjunto de objetos y de actividades porque no las posee corporalmente o, sencillamente, porque tiene que descubrir la mejor forma de obrar si nos referimos al plano de la acción ética y política. Es la capacidad de aprender del medio por observación y de idear imaginativamente elevando las imágenes a concepto lo que ha hecho que el ser humano pueda sobrevivir. Las condiciones de su supervivencia han sido las de su capacidad de creación más que la simple adaptación biológica.

El término cultura, que es al fin y al cabo de lo que estamos tratando, admite múltiples acepciones. En la historia de la antropología ha tenido prácticamente una definición por cada autor señero. No se trata aquí de llegar a una nueva definición o alcanzar un consenso entre las diferentes definiciones sino de orientar al lector en su concepto básico. Y, para ello, lo mejor es comprender su raíz etimológica: cultura procede del verbo latino *colere* y significa, en primer lugar, un cultivar la tierra (*facere*, acción transeúnte); en segundo lugar un cultivarse (*agere*, acción inmanente) y, en tercer lugar, un culto representado en la acción religiosa que tiene como fundamento el acto de veneración (Choza, 2014:171-173) con el que el ser humano intenta vincularse a través del símbolo con lo divino tanto de forma comunitaria como de manera individual. Operar sobre el medio, operar sobre sí mismo, comprender el universo a través de los símbolos: esos son los tres ámbitos más evidentes de la cultura. Ámbitos que se dan, primeramente y como ya se ha insistido, de forma colectiva y, después, de forma individual.

La apertura humana que da lugar a diferentes maneras de comportamiento colectivo (costumbres) e individuales (hábitos operativos) ha hecho que algunas formas de antropología hayan concebido que el ser humano carece de una naturaleza específica: lo humano carecería de consistencia ontológica y se convertiría en una pluralidad de costumbres plurales eficaces y útiles que, según los representantes más radicales, serían inconmensurables entre sí. En eso consistirían sucintamente las tesis que se configuran dentro del llamado relativismo cultural. Esas tesis son, en parte, empíricas, pero también son, en gran

medida, reactivas a una concepción demasiado fuerte y estricta de la naturaleza humana: aquella que sostiene que hay solo un camino para alcanzar la plenitud de lo humano y que, por más detalle, se corresponde con el que la propia cultura establece como tal. Son formas de metafísica de la esencia humana que suelen estar aquejadas de un fuerte universalismo etnocentrista. Pero hay que separar ambas cosas, el universalismo de lo humano del etnocentrismo. Las culturas, al afirmar lo propio como lo estrictamente humano son en sí mismas etnocentristas. El problema surge cuando una cultura con poder político sobre las demás quiere imponer su modelo concreto de humanidad al resto de los mundos humanos. La metafísica que surge es, se podría decir, más que universalista, uniformadora de lo humano. Y es que la idea de humano, por el desajustamiento que con anterioridad hemos indicado, tiende a la pluralidad y a la diversidad aunque puedan existir formas de mediar entre ellas, maneras de hacerlas conmensurables. La convivencia pacífica de culturas muy diversas que existe en algunas zonas del mundo facilita que entren en diálogo y puedan comprenderse unas a otras (Rodríguez Valls, 2009).

Hay dos formas de hallar lo que une a lo humano, dos formas de establecer una teoría sobre la naturaleza humana: una concibiendo idealmente en qué consiste y otra tratando de hallarla en la pluralidad de sus manifestaciones. La primera tiene el defecto de que puede no separar lo accidental de lo sustantivo porque eso solo se consigue a través de la experiencia. La segunda tiene la desventaja de que, como toda investigación empírica, es larga y onerosa —implica el problema de la inducción— y puede llevar al desaliento y a la desesperación. De hecho, el relativismo cultural es la negación de toda esperanza de que podamos hallar algo común a la pluralidad de lo humano. La solución sería articular la pluralidad de las manifestaciones con un margen común de finalidades lo suficientemente amplias para que no cayera en la dispersión absoluta. ¿Existe una sola forma de ser humano o hay muchas que caben dentro de lo humano? Encontrar la unidad en la pluralidad es la solución a que debería llegar la antropología

y que le permitiría postular una naturaleza común. Evidentemente existe una unidad genética, una unidad de forma corporal, una unidad de estructura cerebral y una unidad de necesidades básicas que satisfacer mínimamente. El racismo es ya científicamente un concepto obsoleto aunque en algunos campos políticos de índole práctica se siga manifestando. La pluralidad se encuentra en los valores y en las costumbres que concretan esos valores, es decir, es una pluralidad ética y política. La cuestión es que, probablemente, en el ser humano, la ética tenga prioridad sobre la morfología o la genética porque es la acción la que constituye y determina concretamente lo que es la plenitud de lo humano. El hábito concreta y perfecciona su indeterminación natural. Pero eso no pretende decir que cualquier acción valga para definir la existencia plena o auténticamente desarrollada de lo humano o de una colectividad humana. ¿Está justificada cualquier costumbre? ¿Vale cualquier fin como fin humano? ¿Es la negación de esa tesis simple imposición etnocentrista? Esa discusión es larga y compleja y no se puede solucionar aquí porque es caballo de batalla contemporáneo. Pero es posible aportar a esa discusión una tesis que quizás pueda orientar la búsqueda que el lector necesariamente tiene que emprender en su solución. Ese apunte es formular la prioridad de las personas sobre las culturas: la dignidad es, prioritariamente, dignidad de los sujetos más que dignidad de las comunidades o instituciones. Y eso tiene sentido ya que toda institución social está establecida y dirigida para el crecimiento personal o el cuidado de personas singulares. Cualquier cultura que sacrifique al individuo o a parte de su ciudadanía con dolores inmisericordes o con servidumbres rayanas en la esclavitud no puede justificarse a sí misma como cultura en la medida en que desprotege a los ciudadanos que debe amparar. Cualquier costumbre que engendre dolor innecesario para la persona o suponga sometimiento injusto no puede clamar por ser respetada. Y hacerlo sería caer en un folklorismo cultural que mantiene costumbres por ser curiosidades del mundo humano que puedan ser observadas por el resto del mundo humano dentro de una especie de museo de

la extravagancia o, mejor, de la crueldad por la que tantas veces se ha caracterizado el trato de unos humanos con otros.

Otro terreno de discusión metafísica sobre la naturaleza humana y sobre cuándo puede decirse que aparece lo humano gira en torno sobre si se es humano por nacer como tal o esa es una situación que se alcanza desarrollando un proyecto de plenitud. Y aquí merece la pena detenerse un momento porque el problema planteado se debe a una ambigüedad sobre qué se concibe como plenitud humana. Una cosa es la constitución como humano íntegro, lo que comporta la totalidad jurídica —reconocida o no legalmente— de los derechos, y otra la plenitud existencial de lo humano en términos objetivos (cuando se posee una existencia auténtica) o subjetivos (cuando uno se siente pleno). En el primer caso, la protección del sujeto constituido como humano es filosóficamente necesaria puesto que en sí mismo implica dignidad: el yo tiene carácter no-medial o absoluto; esa es la esencia de lo que se entiende por dignidad. ¿Cuándo se constituye el sujeto? ¿Cuándo aparece el sujeto constituido? ¿Hay algún momento en que *empiece* a ser humano con preferencia a otro momento? Permítaseme que acuda a Heidegger para responder a esta cuestión:

> El fruto inmaduro va al encuentro de su madurez. Pero este ir madurando no consiste en modo alguno en que lo que él no es todavía venga a añadírsele, a la manera de algo que aún-no-estaba-ahí. El fruto mismo se encamina hacia la madurez, y este encaminarse caracteriza su ser como fruto. Nada de lo que imaginablemente se le pudiera agregar podría eliminar la inmadurez del fruto, si este ente no viniera por sí mismo a la madurez. El no-todavía de la inmadurez no significa la falta de algo extrínseco, que, indiferente al fruto, pudiese llegar a estar presente en y con él. Se refiere a él mismo, en su modo específico de ser. La suma aún no completa es «indiferente», en su condición de a la mano, frente al resto faltante que no está aún a la mano. En rigor, ella no puede ser ni indiferente ni tampoco no indiferente frente a él. En cambio, el fruto en

> maduración no solo no es indiferente frente a la inmadurez, como frente a otro de él mismo, sino que, madurando, él es la inmadurez. El no-todavía ya está incorporado en su propio ser, y esto no como una determinación cualquiera, sino como constitutivum. Respectivamente, también el Dasein ya es siempre, mientras está siendo, su no-todavía (Heidegger, 2003: 264).

Ser humano no es algo que se añade a lo humano si este está ya constituido como tal. Siempre lo es en tanto que constituido. Ahora bien, otra cosa es que la constitución ontológica de la naturaleza humana implique su realización plena como existente humano y, en consecuencia, una existencia humana lograda. Pero eso es, precisamente, una diferencia entre lo humano y lo no humano y entre la cultura humana y las comunidades de animales gregarios: así como el animal alcanza la plenitud en la consumación del ciclo biológico, el ser humano no. De cualquier animal se predica su plena realización si nace, crece, se reproduce y, finalmente, muere. El ser humano puede cumplir ese ciclo y, mientras contempla su existir, sentir una tremenda sensación de fracaso y de vacío. Los ideales de excelencia humana son ideales de virtud, de ir siempre más allá, de trascender la naturalidad del estado animal en formas de creación siempre nuevas. Una cosa es ser un ser humano y otra haber alcanzado la plenitud humana, el ideal propio —y plural — de excelencia. Lo que posee dignidad es lo humano constituido. Lo humano realizado se hace merecedor de mérito, pero no de dignidad, porque la dignidad es algo previo y forma parte de su ser simplemente humano. Si eso no fuera así sería incoherente predicar la igualdad porque, parafraseando a Orwell, habría unos humanos más «iguales» que otros. Dentro del marco del debate de la relación entre naturaleza humana y cultura humana ha surgido el debate con el transhumanismo, es decir, con la ampliación tecnológica presumiblemente ilimitada de la condición humana que, según algunos, reduce lo humano a puro instrumento y a su eliminación y, según otros, lo eleva a su auténtica condición de ser máximamente reflexivo (Velázquez

Fernández, 1999: 577-590).

La cultura es, por tanto, el conjunto de herramientas y técnicas, normas morales y leyes políticas y el conjunto de símbolos que constituyen lo propio de un sistema socio-cultural. Cuando existen todos esos elementos puede afirmarse que el ser humano se ha humanizado. De entre todas esas construcciones hay un conjunto de símbolos que tiene como misión la expresión de todo símbolo posible. Me refiero al caso del lenguaje verbal articulado (Hierro Pescador, 2005). Poseerlo indica ya la constante necesidad de comunicación y de transmisión de información de todo tipo que tiene el ser humano. Hasta tal punto es así que desde los inicios de la filosofía se lo definió como el «animal que tiene lenguaje». Un lenguaje muy especial que no es solo una forma más de comunicación sino la posibilidad de nombrar todo ya sea real o irreal, presente o ausente, objetivo o subjetivo, etc. Si hubiera que definir su naturaleza habría que destacar tres características: es convencional, es productivo y posee lo que la antropología ha denominado con el nombre de «universalidad semántica». Siendo breve: el lenguaje humano es un constructo artificial y no hay propiamente lenguas más naturales que otras, es decir, que designen la realidad en sí más que otras; el hablante tiene capacidad de generar símbolos nuevos, de enfrentarse a su decir de forma creativa; y, tercero, no se puede poner un límite *a priori* a lo que el lenguaje puede expresar ya que forma parte de la naturaleza del lenguaje querer expresarlo todo e intentar expresarlo todo.

Este decir humano tiene un sentido pleno que es colectivo. La transmisión de información se aplica, por supuesto, a lo útil. Pero no acaba ahí. El lenguaje tiene una función de comunicación de los pensamientos y de los sentimientos que hace que el hombre busque en otras personas (a través de los libros, el arte, la ciencia, el consejo personal) sentido a su existencia y a la existencia de los demás. Así como la génesis del lenguaje solo se explica cuando existe un grupo que necesita intercambio de conocimiento, el fin mismo del lenguaje se justifica en la construcción de más conocimiento para

transformar y orientar la vida de las personas o, sin más, por la posesión del conocimiento mismo.

3. LA VUELTA A LA NATURALEZA Y EL DESARROLLO CULTURAL SOSTENIBLE: ¿SER HUMANO *VERSUS* NATURALEZA?

El último problema a tratar es el de las relaciones prácticas del ser humano con la naturaleza enfocándolo desde la perspectiva de la naturaleza propia y múltiple de lo humano. Por su peculiar condición de especie dominante, el ser humano ha ejercido y está ejerciendo la explotación del planeta para utilizarlo en su propio beneficio como especie biológica: la explotación de los recursos tiene —al menos debería tener— la finalidad de que el ser humano viva y, más allá de eso, viva lo mejor posible. Nada que objetar a ello: el ser vivo tiene derecho a vivir y eso es lo que hacen el resto de especies. El ser humano no es especialmente cruel en sus relaciones con la naturaleza y no se comporta de forma diferente a como lo haría cualquier otra especie en su lugar, es decir, buscando su propio beneficio. Pero la cuestión es que el ser humano, además de su condición biológica, tiene un tipo de conciencia que le lleva a considerar la situación de su medio ambiente: la conciencia trasciende el ámbito de lo biológico para ponerse al servicio de la totalidad. O al menos tiene la posibilidad de hacerlo. El poder engendra igual capacidad para el bien que para el mal, es decir, capacidad para usarlo en su propio y exclusivo beneficio o para ponerlo al servicio de todos uno mismo incluido: del ser humano se puede esperar la destrucción o el cuidado de su planeta, aunque por los signos de los nuevos tiempos parece que ha aumentado la preocupación por una ética del cuidado. Nunca está de más considerar que la conciencia del ser humano le hace trascender lo que se puede esperar de cualquier ser vivo porque ella no se rige por las leyes de la mera supervivencia individual o de especie. Si es capaz de destrucción, es capaz también de sacrificio y de rendir sus intereses al beneficio de otros seres. Precisamente la capacidad consciente es capacidad de ideación y de posibilidad de ponerse en lugar del otro, ya sea este otro ser humano o sea cualquier entidad en la que podemos

proyectarnos y pensar cómo nos sentiríamos en su lugar. El ser humano es capaz de hacerlo con la totalidad de lo existente y puede extender sus conclusiones hasta donde llegue su capacidad de acción.

En el caso de lo humano, el hecho de que sea una especie biológica que tiene que sobrevivir y que tiene capacidad para vivir lo mejor posible, hace pensar en los orígenes de la actividad económica, su fin natural y en el concepto de propiedad. Se entiende por economía de subsistencia —la primera que tuvieron los homínidos como grupos de cazadores-recolectores— aquella que produce para el mantenimiento de la especie. Cuando las poblaciones eran reducidas esa actividad se podía realizar sin que la naturaleza lo notara en absoluto. El hombre podía ejercer su acción sobre la tierra sin que la tierra se percatara de ello por el uso de lo que la naturaleza producía y el ser humano se limitaba a recoger. En este sentido su actividad era idéntica a la de cualquier otra especie de omnívoro, aunque eso sí, con tecnologías incipientes que le daban la eficacia y la posibilidad de vivir que su inespecialización le dificultaba.

El crecimiento de la población hace que de la recolección de los frutos de la naturaleza se pase, en el periodo Neolítico, a su explotación, invirtiendo trabajo en el cultivo de la tierra y en la domesticación de animales. Esta época supone una auténtica revolución en todos los sentidos, también en el económico, puesto que a la tierra no solo se la usa sino que se la hace producir. Algunos autores consideran que jamás ha habido un cambio tan grande en la mentalidad y forma de vida del *homo sapiens* y es habitual que se conciba el Neolítico como la etapa donde surgen la ciudad, la escritura y la economía de producción. Mientras la finalidad seguía siendo la supervivencia de una especie que no constaba de muchos millones de personas el problema no era demasiado grave. El problema parece surgir cuando el exceso de producción se comercializa y la economía pasa a ser una actividad fundada en el lucro, es decir, una actividad en la que los productos de la tierra se buscan prioritariamente para obtener beneficio. Esto no ocurre de la noche a la mañana, pero es un proceso que va del intercambio

de productos al comercio y a la génesis de la moneda como instrumento de cambio. La facilidad enorme que introduce la moneda implica también una alteración de la misma noción de economía tal y como lo expresa Aristóteles diferenciando entre «economía» y «crematística», buscando la segunda el enriquecimiento y el beneficio por encima de la satisfacción de las necesidades naturales. La economía cambia su misma finalidad y en lugar del producto busca el dinero. El superávit comercial puede invertirse o guardarse para usarlo en peores tiempos y, en cualquier caso, puede ponerse al servicio de la comunidad. El problema es la magnificación de los sistemas de producción debido al aumento de población y a las cada vez más complejas relaciones sociales que se establecen entre sus miembros. El proceso por el que se genera la espiral económica del «siempre más» es complejo y no se puede desarrollar aquí, pero implica que se necesita un crecimiento constante para mantener los niveles de bienestar de una población siempre creciente y necesitada —a veces por la propia espiral de la creación artificial de necesidades— de productos nuevos. Lo que se podría llamar la «tiranía de la producción» empieza entonces a notarse a partir de la Revolución Industrial en la queja de la naturaleza misma (Latouche, 2009).

Hay dos tipos de argumentos contemporáneos que claman por la limitación de la actividad humana y que debemos mencionar. El primero es que el ser humano debe desarrollar una economía sostenible para garantizar un futuro a las generaciones venideras; es un argumento de conveniencia para la propia especie humana y que busca su propia conservación como especie dominante. Es un argumento que apela a la biología y a la emoción y tiene cierta fuerza demostrativa. El segundo afirma que la autocontención de la producción debe hacerse por motivos de respeto a la propia naturaleza y que el ser humano debe ser el encargado de cuidarla porque, en verdad, nunca fue su dueño. Ese argumento es más poderoso que el primero porque clama por la propia condición transbiológica de la especie humana, es decir, por su naturaleza consciente capaz de hacerse cargo del conjunto del planeta.

Evidentemente esos argumentos pueden conciliarse para desarrollar todo un sistema único de pensamiento ecológico. Ese segundo argumento es el que ha estado en la base de la crítica de Heidegger a la técnica y el que ha sustentado los de las diversas generaciones de la Escuela de Frankfurt contra el interés que es alienante de la propia humanidad en tanto que lo humano se pone al servicio de la producción y no al revés. Ese argumento es de carácter eminentemente antropológico porque se gesta en la condición humana, en su naturaleza racional, que le lleva a universalizar y a poder contemplar la totalidad. Poder hacerse cargo del todo solo es posible a aquel ser que es capaz de alcanzar el concepto de totalidad. Apelando al principio clásico de que la acción sigue al ser, únicamente quien puede alcanzar una comprensión del todo es capaz de hacerse cargo éticamente del todo.

El segundo argumento tiene consecuencias económicas evidentes si se tiene en cuenta la conveniencia de la continuidad de la vida y la limitación de los recursos de la tierra. Es el más poderoso y de largo alcance para convencer de la necesidad de un desarrollo sostenible que clama por una acción humana dirigida al cambio de sistema económico que pueda volver a situar a lo humano como centro de la producción. El problema es que esos planteamientos siguen siendo hoy en día muy marginales y son vistos por muchos como algo propio de movimientos alternativos radicales debido a que parece que claman por un retroceso en los supuestos avances de la civilización humana.

Los avances de la humanidad han llevado a los fenómenos de la globalización económica y de la información y a la necesidad del crecimiento permanente. La alternativa ecológico-económica que hoy por hoy se escucha con más fuerza es la que incide en la necesidad del decrecimiento económico: producir menos para vivir mejor. Esa tesis podría parecer contradictoria si no supusiera que ese «vivir mejor» no es poseer más o vivir más cómodamente, sino alterar los valores éticos de la sociedad opulenta que, incluso, está llevando a una degeneración de lo humano respecto de los niveles posibles de excelencia. Significa

un programa de regeneración de valores que implica introducir un ritmo más lento en nuestras vidas, una vuelta al contacto con la tierra, la autonomía alimentaria y la localización económica frente a la globalización. Evidentemente, los valores éticos que no funcionan y destruyen lo humano o implican un anonadamiento de lo humano deben cambiarse por otros. El problema del decrecimiento es que supera los límites de las éticas mínimas para proponer un compromiso completo de los ciudadanos con la comunidad y con ellos mismos. Es una ética de máximos a la que no todo el mundo puede mirar con buenos ojos. Pero, independientemente del sistema alternativo, parece que está clara la necesidad de introducir cambios en nuestros sistemas de producción para hacerlos más limpios, menos contaminantes y más sostenibles. La pregunta que se puede hacer es: ¿son suficientes las acciones que se están emprendiendo para la regeneración económica del planeta o son una mera cosmética para contentar a ciudadanos insatisfechos cuando lo que realmente se necesitaría es un radical cambio de valores? Se ha conjeturado que esa es la pregunta fundamental que hay que plantear y que va al centro del problema antropológico.

Existe políticamente una fuerte simpatía por todo lo que sea respeto al medio ambiente. Pero eso no ha llevado todavía a cambios estructurales que parecen difíciles de conseguir. De momento el planeta sigue en riesgo e incluso la filmografía abunda en películas que auguran su futuro abandono por parte del hombre. Frente a ello, un argumento a sostener es el siguiente: ¿dónde se puede estar mejor que en casa?, ¿dónde mejor que en los medios ambientes que constituyen nuestras raíces y en los que vivimos sin excesiva complejidad técnica? Parece ser que la filosofía está pidiendo cada vez más una recuperación de la intersubjetividad en la que de forma subsidiaria deben caber los animales, las plantas y la totalidad del planeta. No en vano, en los últimos años, aunque a veces con planteamientos demasiado extremos, han nacido grupos que claman por los derechos de los animales y que desean restañar las heridas que el ser humano ha causado objetivamente en el

planeta. Como se desprende de la totalidad de este capítulo, no todo ente tiene la misma dignidad ya que muchos pueden tener carácter de medios, pero eso no quiere decir que se abuse de ellos como si el ser humano los poseyera como «dueño» y no debiera dar explicaciones a los demás seres humanos y a su propia conciencia de las actuaciones que realiza. Una cosa es que el ser humano pueda usarlos y otra muy distinta que pueda abusar de ese uso (Marcos, 2015: 161-185). Lo primero puede hacerlo para su propia supervivencia biológica. Lo segundo debe evitarlo por su propia condición racional.

Como una especie biológica más el ser humano tiene derecho a usar y producir. Como única especie que posee conciencia refleja es la especie que debe hacerse cargo de la totalidad. El hecho de que las técnicas nacidas para la supervivencia tengan que ser reconducidas en técnicas para la sostenibilidad implica un nuevo paso en la humanización del ser humano. La dificultad existe en la medida en que ello nos hace cambiar nuestros estilos de vida. Y tanta es esa dificultad que estamos apurando el tiempo hasta llegar al punto de no retorno. ¿Primarán los valores biológicos o los transbiológicos del ser humano, su condición de animal que busca sus intereses o la condición de ser consciente que se pone en el lugar de todos? Eso es cuestión de futuro y, en consecuencia, no se puede entrar en lo que todavía no es. Pero sí se puede anticipar que se están dando pasos útiles en la buena dirección que quizás lleven a una reconsideración de la misión de lo humano en el mundo y a que lo suyo no es la mera supervivencia sino vivir en la excelencia de los ideales éticos.

XII. **Guía bibliográfica introductoria**[1]

MIGUEL PALOMO
Universidad de Sevilla

La filosofía de la naturaleza es una disciplina que ha sobrevivido modas y cambios de paradigmas, así como hachazos académicos e ideológicos. También —lo que supone la prueba definitiva— al paso del tiempo. Es, además, una alternativa a la pretensión de que la filosofía debe ceñirse a lo que proponen los científicos, o mucho peor, dejarse de cuestiones que atañen al mundo empírico y ocuparse simplemente de lo metafísico. Difícil para los filósofos y escurridiza para los científicos, la filosofía de la naturaleza siempre ha optado por convertirse más bien en el hilo que une las páginas del libro del conocimiento, y esa pretensión se ve reflejada en su metodología, que, navegando entre disciplinas, tiene la capacidad de jugar con el eslabón perdido de la comprensión de la realidad. Precisamente esa interacción de disciplinas, clave de la filosofía de la naturaleza, está fielmente reflejada en las obras que a continuación reseño. Espero que esta guía de obras sobre filosofía de la naturaleza (casi todas publicadas en el siglo XXI) pueda servir para iniciarse en esta aventura que todavía hoy no presenta el menor signo de agotamiento.

* * *

RAFAEL ALEMAÑ (2015), ***La naturaleza imaginada. ¿Es matemático el mundo?,*** **Moscú, Krasand, 493 pp.**

Los libros sobre matemáticas tienen una dificultad añadida, pues ¿cómo transmitir con palabras lo que es propio de números? Pocos son los que superan esa barrera filosófico-lingüística de manera elegante, y entre los que lo consiguen, muchos no llegan a transmitir la fuerza filosófica que contienen las matemáticas en su interior. En este sentido, Rafael Alemañ es un excelente traductor. Su obra, como él mismo dice: «Transita por la vasta tierra de nadie situada entre las matemáticas, las ciencias empíricas y la filosofía de la naturaleza», pero no deja de lado las cuestiones filosóficas, sino que las acoge y expone

admirablemente.

La naturaleza imaginada tiene una finalidad clara: responder a cuestiones tales como: ¿es el mundo físico inherentemente matemático? ¿Es toda la realidad matemática? ¿Posee la coherencia matemática un peso ontológico y metafísico tal que nos esté diciendo algo sobre la naturaleza última de la verdad? Ante la alternativa de escoger entre una exposición histórica de los problemas o una exposición temática, ha decidido seguir un camino intermedio. De este modo, los dos primeros capítulos se dedican a explicar los conceptos que se van a barajar a lo largo de toda la obra. Los restantes capítulos se centran en épocas (como «Medievales y Renacentistas» o «El nacimiento de la filosofía natural»), o bien presentan un carácter temático (como «Geometría, espacio y tiempo» o «A la sombra de Bacon»).

Hay que señalar que las conclusiones presentadas por Rafael Alemañ, como la buena filosofía, abren nuevas preguntas. Probablemente todas ellas se encuentren en cierto modo resumidas en la cuestión: ¿cómo es posible que las matemáticas, un sistema de símbolos que se rigen por leyes, sean capaces de presentar una efectividad notable al ser aplicada al estudio científico de nuestro mundo? En la obra de Alemañ hay más de un indicio a partir del cual los más atrevidos podrán lanzarse a solucionar este *puzzle* metafísico.

* * *

JUAN ARANA (2001), *Materia, Universo, Vida*, Madrid, Tecnos, 570 pp.

En esta obra se dan cita los problemas más importantes de la filosofía de la naturaleza desde una perspectiva introductoria, pero a la vez lo suficientemente profunda como para entrar en las discusiones de Platón, Leibniz, Newton y otros protagonistas de la historia de la filosofía. Arana presenta un panorama general en el que se muestra el surgimiento de cuestiones como el estatuto ontológico del espacio y el tiempo, la continuidad de la materia o las diferentes representaciones de la realidad, además de señalar los diferentes itinerarios seguidos por los filósofos y los científicos.

La obra se encuentra dividida en varias secciones dedicadas a

la materia, una al universo y otra última dedicada a la vida y a problemas como la evolución o el reduccionismo. Está escrita de una forma amena y grata de leer, apta para introducirse en asuntos como los concernientes al concepto del movimiento, la explicación mecanicista de los fenómenos, los problemas filosóficos que aparecen con la mecánica cuántica, etc. Cabe destacar el carácter pedagógico de la obra: en este sentido Arana presenta y desarrolla brevemente cada problema en diferentes apartados de entre dos y cinco páginas para que el lector pueda situarse fácilmente en un lado u otro de la discusión. La mayor virtud de la obra radica en que, a pesar de su carácter introductorio a los problemas de la filosofía de la naturaleza, *Materia, Universo, Vida* no es una mera obra de consulta, sino que consigue que el lector se sitúe dentro del maremoto filosófico que se presenta en cada una de las secciones.

Por último, una ventaja de esta obra es que ha sido creada de modo que el lector puede elegir por dónde comenzar su estudio. Por ello, además de comenzar la lectura de modo tradicional, también puede *explorar* aquellos apartados que le resulten más atractivos o interesantes.

* * *

JUAN ARANA (2012), *Los sótanos del universo*, Madrid, Biblioteca Nueva, 398 pp.

Juan Arana se propone debatir un asunto que a lo largo de la historia ha estado escondido en los pliegues de las fronteras entre disciplinas: la determinación de lo real y sus causas, es decir, los lazos que unen a los objetos y a los fenómenos que por un lado se nos muestran como ocultos (de ahí la metáfora de los sótanos) pero que a su vez son esenciales para comprender y conocer la realidad.

La obra adopta un enfoque histórico con la finalidad de presentar un panorama completo de los problemas tratados por filósofos como Aristóteles, Leibniz o Kant. Sin embargo, estas cuestiones históricas no son el objetivo central de la obra, sino que constituyen un punto de apoyo para atacar los problemas de la forma más adecuada. De este modo, después de tratar asuntos como la causalidad y el azar en las ciencias, los límites del

reduccionismo o cuestiones como la evolución de la vida, Arana propone la epistemología del riesgo como el acercamiento más adecuado para afrontar los problemas que oscilan entre la filosofía y la ciencia. Este ejercicio supone a su vez una crítica y un intento de superar a Kant, enfrentamiento que se identifica en el rechazo de varios supuestos defendidos por el filósofo de Königsberg, como relegar la autoridad sobre los juicios de la experiencia a las ciencias positivas, o imprimir a la filosofía un giro que la enfoque exclusivamente hacia su ámbito lingüístico y epistemológico.

Los sótanos del universo es un ejercicio vivo de filosofía de la naturaleza, es decir, no se conforma con un ejercicio historicista de la disciplina. Más que dialogar con el pasado, esta obra dialoga con el presente tratando de encontrar perspectivas para futuros desarrollos de filosofía de la naturaleza.

* * *

PETER DEAR (2006), *The Intelligibility of Nature: How Science Makes Sense of the World,* Chicago, University of Chicago Press, 242 pp.

La introducción de *The Intelligibility of Nature* señala que si uno quiere saber sobre las estrellas, acudirá a un astrónomo; si quiere conocer algo acerca de la historia de la Tierra, acudirá a un geólogo; pero si quiere saber algo acerca de cómo son las cosas y cómo funcionan las cosas en referencia a nuestro mundo natural, a nuestro universo, la mayor parte de los contemporáneos acudirá intuitivamente a un científico, a pesar de que cualquier respuesta que reciba pertenecerá a la filosofía de la naturaleza. Peter Dear, profesor de historia de la ciencia en Cornell, explica que dicha disciplina en el siglo XIX fue absorbida por la «ciencia» en general. Si bien su afirmación es discutible (pues no todos los autores de las obras reseñadas en su libro son científicos, sino que muchos son filósofos o aúnan en sus currículos ambas disciplinas), esta idea presenta perfectamente la finalidad de la obra: sacar a la filosofía de la naturaleza del cajón de sastre en el que los científicos la han colocado en los últimos tiempos.

Para Peter Dear hay dos razones que explican el por qué

estudiamos el mundo natural. La primera es que necesitamos entender y comprender nuestro mundo; la segunda, que pretendemos instrumentalizar y por tanto dominar la naturaleza para propósitos humanos. La primera razón habría sido estudiada por la filosofía de la naturaleza, y según Dear habría influido de manera directa en la sociedad, puesto que el conocimiento para él es dependiente del contexto en el que se presenta y la filosofía de la naturaleza nos ayuda a representar la realidad en la que nos encontramos. Gran parte de la obra se detiene, sin embargo, en la segunda razón, es decir, la instrumentalización, señalando que la combinación de ambas motivaciones explicaría la aparición de la ciencia moderna.

La obra está dividida en seis apartados. El primero trata el ascenso del mecanicismo en el siglo XVII; el segundo, la clasificación del mundo según la historia natural en el siglo XVIII; el tercero, la revolución química; el cuarto, cuestiones relativas al *Origen de las especies* y a la evolución; el quinto, el electromagnetismo en el siglo XIX; y por último el sexto, se dedica a la mecánica cuántica.

Aunque algunas de las tesis mantenidas por Peter Dear son debatibles y aunque su orientación es fundamentalmente cientificista, *The Intelligibility of Nature* es una eficaz obra introductoria a la historia de las ciencias que subraya el papel y las aportaciones de la filosofía de la naturaleza a lo largo de los últimos siglos.

* * *

MICHAEL ESFELD (2012), *Physique et métaphysique: une introduction à la philosophie de la nature*, Laussane, Presses polytechniques et universitaires romandes, 172 pp.

Michael Esfeld, profesor de la Université de Lausanne en Suiza, ha dedicado obras anteriores a presentar un esquema general de la filosofía de las ciencias, como en su *Philosophie der Physik* (2012), pero en este caso presenta una introducción a la filosofía de la naturaleza. Como su título indica, en *Physique et métaphysique: une introduction à la philosophie de la nature* las interacciones entre física y metafísica son clave tanto en la disciplina como en esta obra.

El libro se presenta a modo de manual y está redactado desde una perspectiva filosófica. El apartado metafísico queda patente en el conjunto de la obra: se sostiene que la ciencia por sí misma no puede dar cuenta de toda la realidad y que es necesario un ejercicio filosófico para explicar la existencia de nuestro mundo. *Physique et métaphysique* está dividido en doce capítulos que abarcan desde el tratamiento introductorio de la filosofía de la naturaleza (cap. 1) hasta el problema de la dirección del tiempo (cap. 12), incluyendo apartados dedicados a la teoría de la relatividad y el estatuto ontológico del tiempo (cap. 6), a la geometrización de la materia (cap. 8) o a la física cuántica y el problema de la medida bajo este paradigma (cap. 10).

Se trata de una obra introductoria que incide en las diferentes temáticas de la filosofía de la naturaleza en lugar de centrarse en autores concretos. Su estilo es sencillo y fácilmente comprensible, lo cual permitirá al lector una cómoda iniciación en las discusiones de la filosofía de la naturaleza, incluyendo aquellas que provienen de la reflexión relativa a la ciencia contemporánea, mecánica cuántica incluida.

* * *

MIGUEL ESPINOZA (2000), *Philosophie de la nature*, Paris, Ellipses, 128 pp.

Hay libros que se presentan como manuales de filosofía de la naturaleza y otros que se dedican a exponer una concepción más personal respecto a los problemas de la disciplina. El caso de la obra que nos ocupa es diferente, pues *Philosophie de la nature* de Miguel Espinoza funciona como un híbrido: por un lado presenta cuestiones clásicas que han sido estudiadas por filósofos como Aristóteles, Kant o Penrose, mientras que por otro no duda en presentar sus propias teorías respecto a algunas de las cuestiones cosmológicas centrales.

El volumen comprende siete capítulos. El primero subraya la continuidad entre física y metafísica centrándose en el demonio de Laplace. El segundo cuestiona el estatuto de verdad de la teoría física; Espinoza señala que no puede darse una respuesta taxativa desde la misma ciencia, ya que ello involucra cuestiones filosóficas. El tercero discute el posible diálogo entre

la razón y lo irracional. El cuarto estudia las cualidades primarias y secundarias; a la luz de los avances en física de la mecánica cuántica, aquellas cualidades que en la ilustración se entendían como primarias dejan de poseer dicha característica. El quinto considera la posibilidad de que la ciencia pueda explicar la conciencia, a lo que parece debemos dar una respuesta negativa. El sexto estudia el intuicionismo y la objetividad. El séptimo expone su teoría de la inteligibilidad. Por último, un epígrafe final cierra el libro debatiendo la posibilidad de conocer la realidad en sí misma.

A pesar de la variedad de los temas tratados en esta obra, todos ellos poseen una base común: la continuidad entre los problemas filosóficos y científicos. Por consiguiente, el lector interesado en filosofía de la naturaleza será fácilmente seducido por este libro, pues aunque los asuntos son complejos y requieren una mínima formación previa para su adecuada comprensión, Miguel Espinoza presenta sus ideas con gran soltura y sienta las bases para una discusión en profundidad.

* * *

MIGUEL ESPINOZA; ROBERTO TORRETTI (2004), *Pensar la ciencia: estudios críticos sobre obras filosóficas (1950-2000),* Madrid, Tecnos, 394 pp.

Dentro de este apartado dedicado a reseñar obras sobre filosofía de la naturaleza es aconsejable incluir una obra que tiene un carácter metateórico, pues *Pensar la ciencia: estudios críticos sobre obras filosóficas (1995-2000)* es una recopilación, pero no de obras de los autores, sino de reseñas realizadas por ellos durante cincuenta años a las obras más importantes de la segunda mitad del siglo XX sobre las dimensiones filosóficas de las ciencias naturales.

Conociendo el recorrido de ambos filósofos chilenos no es de extrañar que muchos de los volúmenes reseñados se centren en filosofía de la ciencia, como al considerar obras que ya forman parte de la historia de la filosofía (*La estructura de las revoluciones científicas* de Thomas S. Kuhn o *Filosofía de la ciencia natural* de Carl G. Hempel). Sin embargo, otras de las obras estudiadas, como *Método de la filosofía de la naturaleza* de Michel

Ambacher, *La nueva mente del emperador: sobre computadoras, mentes y las leyes de la física* de Roger Penrose, o *Enigmas y controversias* de Jean Largeault, se centran más específicamente en los problemas tratados tradicionalmente por la filosofía de la naturaleza, como la determinación del mundo o las causas del devenir cósmico.

Las críticas están escritas con rigor y profundidad (algunas de ellas llegan a tener incluso diez o más páginas), pero presentan cierta diferencia en cuanto a su tratamiento por Torreti y Espinoza. El primero reseña preferentemente obras sobre física y matemáticas; mientras que Espinoza prefiere centrarse en libros que se atienen preferentemente a los problemas metafísicos enfocados desde la ciencia. Lo cierto es que esta obra puede ser útil para aquéllos que deseen obtener un panorama general del desarrollo de las relaciones entre ciencia y filosofía durante la segunda mitad del siglo XX.

* * *

EDWARD GRANT (2007), *A History of Natural Philosophy: From the Ancient World to the Nineteenth Century,* Cambridge, Cambridge University Press, 361 pp.

Edward Grant, actualmente profesor en la Indiana University, es especialista en ciencia medieval y ha publicado varios libros que tratan sobre el cosmos en la Edad Media o sobre los fundamentos medievales de la ciencia moderna. En *A History of Natural Philosophy* presenta un panorama general de la historia de la filosofía de la naturaleza y a la vez estudia sus relaciones con la ciencia. La tesis central es que la filosofía de la naturaleza sufrió su cambio más importante en el siglo XVII, cuando hubo una invasión de la matemática en la disciplina, hasta el punto que la filosofía de la naturaleza acabó por confundirse e identificarse con el quehacer científico.

La obra abarca desde el antiguo Egipto hasta bien entrado el siglo XIX y comprende capítulos dedicados a Aristóteles, al Islam y su aristotelismo, o la revolución científica hasta el siglo XIX (este último de forma más breve). Sin embargo, el grueso de la obra —que a su vez es la parte más interesante— se identifica con la especialidad de Edward Grant: la filosofía de la

naturaleza en la época medieval. Autores como Roger Bacon, John Buridan o William of Auvergne son estudiados en estas páginas, y difícilmente el lector encontrará un tratamiento de filósofos como ellos en otras obras de filosofía de la naturaleza.

Por último, también destacan los apartados dedicados al papel de la magia en la filosofía de la naturaleza o las relaciones entre la filosofía de la naturaleza y la teología. A este propósito señala Grant que la filosofía de la naturaleza es una disciplina totalmente independiente de la teología y de las matemáticas, y que dicha distinción ya se encontraba presente en la Edad Media. *A History of Natural Philosophy*, en definitiva, no se conforma con presentar una simple sucesión histórica de hechos, sino que entra en el núcleo de las discusiones para participar de ellas.

* * *

ANGÈLE KREMER-MARIETTI (1999), *Philosophie des sciences de la nature*, París, Presses Universitaires de France, 280 pp.

La mayoría de las obras reseñadas en este capítulo se centran en la filosofía de la naturaleza. Sin embargo, la temática de alguno de ellos se cruza también con la filosofía de la ciencia. Este es el caso de *Philosophie des sciences de la nature* en el que Angèle Kremer-Marietti presenta una perspectiva mixta en la que las implicaciones filosóficas que se encuentran en el estudio de las ciencias cobran el papel protagonista.

La obra comprende cinco grandes apartados. El primero analiza los ejes metodológicos de la investigación científica en lo que respecta a la naturaleza y sus implicaciones en historia de la ciencia y se detiene, por ejemplo, a explicar el papel de Comte y Hegel para entender el papel de la práctica científica a principios del siglo XIX. Los siguientes cuatro capítulos presentan una estructura histórica: el segundo se dedica a la Antigüedad y la Edad Media; el tercero, a la Modernidad, donde estudia a científicos como Kepler o Herschel; el cuarto, al siglo XIX, donde Kremer-Marietti retoma a Comte. Por último, en el quinto estudia las cuestiones filosóficas que nos ha proporcionado el desarrollo la mecánica cuántica.

Es probablemente este último capítulo donde el lector pueda encontrar el principal núcleo filosófico de la obra, pues señala como conclusión que los principales intereses durante el siglo XXI se tornarán hacia la biología. Sus análisis sobre las teorías de Bohr y Max Plank son certeros y realiza un excelente tratamiento de la polémica Einstein-Bohr, en el que Albert Einstein intentó demostrar la incompletitud de la mecánica cuántica, la cual señala que debemos deshacernos de las ideas de continuidad, determinismo y realidad independiente del observador. Por ello, esta obra es recomendable especialmente para el interesado sobre todo en la filosofía de la naturaleza del siglo XX y en las relaciones entre filosofía de la naturaleza y filosofía de la ciencia.

* * *

WALTER ROY LAIRD, SOPHIE ROUX (eds.) (2007), *Mechanics and Natural Philosophy Before the Scientific Revolution*, Dordrecht, Springer, 306 pp.

Aunque escrito en inglés, *Mechanics and Natural Philosophy Before the Scientific Revolution* posee dos conexiones claras con España. La primera se manifiesta en el hecho de que el germen de la obra se haya producido en un *workshop* que tuvo lugar en La Orotava, Tenerife, a principios del año 2004. Este *workshop* sobre «*Mechanics and Natural Philosophy: Accommodation and Conflict*» buscaba aunar estudios sobre el surgimiento de la mecánica moderna partiendo desde la filosofía de la naturaleza. El libro presenta una selección de las ponencias expuestas en Tenerife revisadas y corregidas, entre las cuales se encuentra la segunda conexión con el territorio español: el artículo escrito por Víctor Navarro Brotons «*Mechanics in Spain at the End of the 16th Century and the Madrid Academy of Mathematics*». La meta de la obra, sin embargo, no es la de presentar un mero estudio histórico ni una comparación entre la filosofía de la naturaleza y la mecánica, sino que busca «articular el trasfondo conceptual de la emergencia histórica de la mecánica moderna en relación a la filosofía de la naturaleza», como señala la introducción, presentando una serie de momentos donde las tradiciones filosóficas y científicas chocan y dan pie a la aparición de la

mecánica moderna.

La estructura del libro comprende tres grandes capítulos. El primero se centra en la mecánica clásica de la antigua Grecia y su tratamiento durante la Edad Media. Aquí destaca el tratamiento que realiza Mark J. Schiefsky de la mecánica de Herón de Alejandría y el análisis del concepto de ímpetu realizado por Jürgen Sarnowsky. El segundo se centra en cómo en la modernidad acoge la mecánica clásica, especialmente la *Mechanica* de Pseudo-Aristóteles, de cuyo análisis se encargan Christiane Vilain y Walter Roy Laird. Por último, en el tercer capítulo, enfocado en la aparición de la mecánica moderna relacionada con sus contextos sociales, destaca el artículo ya señalado de Navarro Brotons, donde el autor presenta un panorama poco conocido de la filosofía española: pensadores como Hurtado de Mendoza (traductor del *Mechanica* al castellano), Juan de Herrera o Andrés García de Céspedes que, lejos de representar el paradigma escolástico, realizaron estudios sobre filosofía de la naturaleza y ciencia en los siglos XVI y XVII que debido a los diferentes avatares políticos y sociales no han llegado a ser conocidos por el gran público.

En definitiva, *Mechanics and Natural Philosophy Before the Scientific Revolution* es una obra rica en matices y rigurosa en su contenido con aportaciones interesantes y de primer nivel internacional. Sin embargo, es netamente más específica que otras obras presentes en esta serie de reseñas. Por ello, el lector ya iniciado en filosofía de la naturaleza puede encontrar aquí más detallada aproximación al surgimiento de la mecánica moderna y, por tanto, a la nueva comprensión de la naturaleza.

* * *

VÍCTOR NAVARRO BROTONS (2014), *Disciplinas, saberes y prácticas. Filosofía natural, matemáticas y astronomía en la sociedad española de la época moderna*, Valencia, Universidad de Valencia, 496 pp.

Los autores que han determinado el quehacer científico y filosófico desde la modernidad son, con pocas excepciones, foráneos. Sin embargo, Víctor Navarro Brotons muestra en su libro que la Península Ibérica actuó también como fuente de

conocimiento científico gracias a intelectuales desconocidos para el gran público.

El libro se compone de artículos que fueron escritos independientemente para revistas científicas y congresos, pero que el autor ha reunido en esta obra con la finalidad de rescatar la memoria de estos filósofos y científicos radicados en la península durante la revolución científica. Al cuerpo de la obra precede una introducción que resume historiográficamente la situación de la cultura científica en España. Los apartados se encuentran divididos en tres grandes bloques: el primero, centrado en el final del siglo XVI y principios del XVII, trata la filosofía y ciencia en las universidades españolas, la adopción de la nueva ciencia de Copérnico o la cosmología; el segundo, que estudia el periodo que abarcan el siglo XVII y el comienzo del XVIII, incluye comentarios sobre la aportación de los jesuitas a las matemáticas o la astronomía y la filosofía natural de Galileo; por último, el tercer apartado presenta un solo capítulo dedicado a la aportación jesuita a la ciencia española del siglo XVIII hasta su expulsión del Imperio Español en 1767.

Obra de carácter único por la temática en la que se centra, *Disciplinas, saberes y prácticas* es un libro lleno de información que apreciarán los interesados en la historia de la ciencia en España y en aquellos pensadores que, en tiempos difíciles, consiguieron reflexionar sobre cuestiones de filosofía de la naturaleza y aportar su pequeño grano de arena al proyecto de la ciencia moderna.

* * *

ROGER PENROSE (2006) *El camino a la realidad. Una guía completa a las leyes del universo,* Barcelona, Debate, 1471 pp.

Es sabido por todos que hay belleza en las matemáticas. Y *El camino a la realidad* de Roger Penrose es una muestra de que también hay belleza en los libros sobre matemáticas. Pero el lector no tiene por qué amedrentarse: primeramente porque este es un libro de carácter y contenido filosóficos, y segundo porque aunque ciertamente entre sus páginas encontramos ecuaciones, símbolos y algoritmos diversos, Penrose señala hábilmente en el

prefacio que si el lector se cree incapaz de efectuar operaciones algebraicas elementales, quizá se está subestimando a sí mismo. Esto es un indicio de la finalidad parcialmente pedagógica de la obra. Y digo parcialmente porque, aun cuando los primeros dieciséis capítulos se dedican a describir doctrinas matemáticas, como la de los números hipercomplejos o el cálculo infinitesimal, Penrose concede también la opción de que el renegado opte simplemente por saltárselos y buscar la enjundia filosófica del resto del volumen.

De hecho, el libro entra en materia filosófica desde el primer capítulo, cuando Penrose habla sobre Platón y la «realidad» de su mundo matemático, pero sólo más adelante la veda de la filosofía de la naturaleza queda totalmente levantada: cuestiones como el concepto de espacio-tiempo, la infinitud, las máquinas de Turing, las geometrías euclidianas, la entropía o las ontologías no convencionales, son tratados para culminar con la cuestión: «¿Qué es la realidad?»

El estilo de Penrose es ameno y directo: ni se salta los problemas más complicados para presentar al lector una simplificación que no hace justicia al problema en sí, ni presenta tampoco las cuestiones de un modo tan complicado como para que el no iniciado desista tras la lectura de unas pocas frases.

* * *

ANA RIOJA; JAVIER ORDÓÑEZ (1999-2006), *Teorías del universo*, Madrid, Síntesis, 3 vols.

En *Teorías del universo* Ana Rioja y Javier Ordóñez presentan un estudio de las diferentes teorías sobre el universo desde una perspectiva histórica. El trabajo realizado no es trivial, puesto que el reto a superar es transmitir a un público primordialmente no científico las diferentes teorías del universo, las cuales han sido gestadas, sobre todo en el mundo contemporáneo, en un ambiente eminentemente técnico y especializado. El reto tenía una segunda parte: no suponer en el lector formación filosófica ni conocimiento de algunos pensadores tratados en la obra, como Aristóteles o Descartes, en cuyos sistemas los aspectos filosóficos son absolutamente indivisibles de las aportaciones científicas. Hay que señalar que ambas dificultades son

ampliamente superadas por los autores, quienes sintetizan las diferentes teorías sobre el universo desde los griegos hasta el siglo XX con una naturalidad digna de admiración.

Dividido en tres volúmenes diferentes, cada uno abarca un periodo temporal concreto. El primer volumen abarca desde los pitagóricos hasta Galileo pasando por Platón, Euxodo o Ptolomeo; el segundo estudia el periodo histórico comprendido entre la época de Galileo y Newton, en el que también son tenidos en cuenta autores como Descartes o Huygens. Por último, el tercer volumen contempla la evolución de las ciencias del universo desde Newton a Hubble, recogiendo entre otros los trabajos de Kant o Laplace

La obra, en definitiva, ofrece una panorámica que destaca por su solidez y capacidad de síntesis. En el prefacio del primer volumen señalan Ana Rioja y Javier Ordóñez que su intención era escribir un manual apto para servir de referencia tanto para estudiantes como profesores. Han conseguido, en efecto, un texto accesible para toda persona interesada en cuestiones sobre las teorías del universo, independientemente de que sea estudiante, académico o simplemente un lector curioso.

* * *

FRANCISCO RODRÍGUEZ VALLS (ed.) (2012), *La inteligencia en la naturaleza: del relojero ciego al ajuste fino del universo*, Madrid, Biblioteca Nueva, 207 pp.

La inteligencia en la naturaleza es un libro editado por Francisco Rodríguez Valls que intenta responder a una cuestión capital en la filosofía de la naturaleza contemporánea: la posibilidad de que exista cierta inteligencia en la naturaleza y, en el caso afirmativo, la pregunta de si ha jugado algún papel en la creación de nuestro mundo. Este volumen colectivo recopila las ponencias que se presentaron en un simposio en la Facultad de Filosofía de la Universidad de Sevilla en el año 2011, donde el tema horizonte fue debatido en profundidad.

Varios autores aportan su punto de vista. Destacan José Domingo Vilaplana o la aportación del editor Francisco Rodríguez Valls. El primero se pregunta en su contribución —«¿Es inteligente la naturaleza? El sentido de la pregunta y

alguna respuesta con sentido»— si cabe hablar de una naturaleza inteligente, además de si es adecuado atribuirle intencionalidad, defendiendo que es una pregunta para la que ni el realismo ni el idealismo poseen respuesta alguna. Según Vilaplana, la pregunta resulta de nuestra manía inveterada de producir «elocuciones psicológicas derivadas de las experiencias cotidianas», es decir, de la invariable costumbre de construir modelos explicativos para conocer la realidad. Por otro lado, en el texto: «Evolución, naturaleza e inteligencia: ¿para qué sirve una emoción?», sitúa Rodríguez Valls la discusión en el plano de las relaciones naturaleza biológicaconsciencia. Defiende el autor que tanto la primera, caracterizada como respuestas corporales complejas e impulsos, como la segunda, donde entra a colación el juego entre emociones, son necesarias para que nuestra vida como seres humanos pueda desarrollarse, descartando por tanto teorías como las defendidas por algunos teóricos de la Inteligencia Artificial, en las que se supone la existencia de un tipo de vida meramente lógico, racional, y por tanto, carente de emociones.

Es precisamente la riqueza aportada por los diferentes autores la principal baza de esta obra. Desde artículos que toman la vía biológica de la filosofía de la naturaleza, como el que acabo de recordar, hasta otros de un marcado carácter físico-filosófico como: «El multiverso y el ajuste fino de la naturaleza» de Soler Gil; u otros que se adentran en terrenos más controvertidos: la relación de esta disciplina con la moral, sobre el que gira la aportación de Jorge Úbeda, o Pedro Jesús Teruel, quien trata por su parte el problema mente-cuerpo. Tanto por la calidad como por la diversidad de las aportaciones, *La inteligencia en la naturaleza* consigue transmitir al lector ese espíritu de debate que le permite sentirse como uno más en la mesa redonda de la discusión.

* * *

SOPHIE ROUX; DANIEL GARBER (eds.) (2013), *The Mechanization of Natural Philosophy*, Berlin, Springer, 338 pp.

Este volumen, centrado en la mecanización de la filosofía de

la naturaleza, cuestiona la idea —demasiado fácilmente aceptada— de que en los siglos XVI y XVII la filosofía mecánica era una simple oposición al aristotelismo ortodoxo. La introducción, escrita por Daniel Garber (conocido leibniziano) y Sophie Roux (profesora de la Université Grenoble II), señala que en la modernidad pueden encontrarse atomismos alquímicos y aristotélicos que para nada eran mecánicos, de manera que la cuestión es más compleja de lo que muchos historiadores han defendido con frecuencia.

The Mechanization of Natural Philosophy reúne doce ensayos presentados en un *workshop* en Grenoble, Francia, en 2005. Todos ellos muestran que los filósofos de la naturaleza en la modernidad no apoyaban las mismas teorías respecto a la mecánica y que no todos ellos deseaban eliminar las teorías provenientes de la Grecia clásica o de los escolásticos: las fronteras en este sentido, de haberlas, son difusas y difíciles de determinar. Los textos se encuentran divididos en tres apartados: el primero se dedica a la construcción de las categorías históricas, en el que se encuentran un análisis de la prehistoria de la filosofía mecánica escrito por Daniel Garber, un texto centrado en Francis Bacon por Guido Giglioni y un último texto centrado en la filosofía de la naturaleza en Francia; el segundo apartado estudia las complejidades presentes en la filosofía mecánica, donde destaca el tratamiento que hace Frédéric de Buzon de la relación entre Descartes e Isaac Beeckman, así como el estudio sobre el tiempo y el espacio newtonianos realizado por Carla Rita Palmerino; en el último capítulo el énfasis se encuentra en la aplicación de la filosofía mecánica, en el que se estudia el fenómeno de la luz en su paso de ser un objeto metafísico a la posibilidad de ser un objeto científico en el sistema de Galileo, con una excelente aportación de Susana Gómez, así como un estudio sobre la mecanización de la química, introducido por Rémi Franckowiak.

Esta obra arroja nuevas luces sobre las investigaciones en filosofía de la naturaleza, pues ayuda a eliminar las categorías estancas que habitualmente aplicamos a determinados filósofos o científicos y a diferentes épocas del pensamiento, mostrando

que la realidad difícilmente es traducible en estos términos.

* * *

FRANCISCO JOSÉ SOLER GIL (2003), *Aristóteles en el mundo cuántico. Una investigación acerca de la aplicabilidad del concepto de sustancia de Aristóteles a los objetos cuánticos*, Granada, Comares, 282 pp.

Muchas investigaciones se dedican a comparar dos o varios autores; otras se dedican a hacer una revisión cronológica de una disciplina concreta; y por último, unas pocas se atreven a salir de esa zona de confort y realizan un ejercicio original en el que nadie había entrado antes de forma sistemática. *Aristóteles en el mundo cuántico* de Francisco Soler Gil pertenece sin duda a esta última categoría, puesto que el autor acoge en esta obra el clásico concepto de sustancia aristotélico para intentar proponer una definición rigurosa de objeto, puesto que «precisamente el intento de concebir lo que son los objetos cuánticos, (esto es, qué categorías ontológicas se pueden emplear para clasificar dichos objetos), representa una de las dificultades principales para la interpretación de la mecánica cuántica».

El desarrollo de las ciencias empíricas en el primer tercio del siglo XX supone el replanteamiento de problemas filosóficos que se creían superados por el realismo cientificista, como las perspectivas idealistas de la realidad o la determinación de lo real. En este sentido, Francisco Soler Gil expone en su libro las consecuencias ontológicas de la teoría cuántica, de modo que, como señala en la introducción, los científicos puedan obtener una mayor comprensión de la mecánica cuántica y los filósofos consigan comprobar si son aplicables a la realidad ciertas categorías o si son capaces de responder a las cuestiones metafísicas y epistemológicas planteadas por los avances de la teoría cuántica.

El libro se divide en cinco capítulos. El primero aclara el concepto aristotélico de sustancia, que constituirá el fundamento del resto de la obra; el segundo confronta la sustancia aristotélica y las perspectivas realistas de la mecánica cuántica, defendiendo que esta es realista solamente a la luz de la existencia de la sustancia propuesta por Aristóteles; el tercero,

parte de la definición de los sistemas físicos y desarrolla las ideas defendidas en el capítulo anterior; en el cuarto trata el autor de aclarar qué entidades cuánticas son susceptibles de ser consideradas como sustancias aristotélicas. El quinto capítulo expone y resuelve varias objeciones a las tesis mantenidas en los apartados anteriores. Por último, a estos capítulos se agrega un apéndice explicativo de los conceptos centrales de la mecánica cuántica.

En la modernidad, los científicos han utilizado una metodología llena de complicados conceptos y cálculos interminables que hace imposible su comprensión para los interesados con formación humanística. Aunque es difícil dilucidar —tras el embrollo de los detalles que interesan a los especialistas— la sustancia filosófica y presentarla para su comprensión por la generalidad de los lectores, hay que reconocer que Francisco Soler lo ha logrado en esta obra. En resumidas cuentas, *Aristóteles en el mundo cuántico* aporta una ayuda sustancial a los filósofos interesados en la mecánica cuántica, a los aristotélicos atrevidos y a todos los que deseen poner a prueba la necesidad de una verdadera interacción entre filosofía y ciencia.

* * *

ROBERTO TORRETTI (1998, reedición), *Filosofía de la naturaleza,* Santiago de Chile, Editorial Universitaria, 170 pp.

Roberto Torretti, profesor emérito de la Universidad de Puerto Rico, presenta en esta *Filosofía de la Naturaleza* lo que su título promete: un manual en el que el lector podrá consultar los problemas más importantes de la materia desde una perspectiva propedéutica. Leyendo entre líneas aparecen además fecundas cuestiones que Torretti ha tratado en obras anteriores como en *Creative Understanding. Philosophical Reflections on Physics* (1990); así como otras que más adelante desarrollará en obras como *De Eudoxo a Newton: modelos matemáticos en la filosofía natural* (2007), donde ilustra los comienzos de la física moderna, realizando un certero análisis de la mecánica newtoniana. Por ello, aunque de carácter introductorio, el lector atisbará

perspectivas más ambiciosas que podrá atacar una vez culmine la inteligencia de este libro.

La obra se centra en los problemas de la filosofía de la naturaleza separándolos en dos grandes periodos. El primero se centra en la época griega, detacando el tratamiento que realiza Torretti de los presocráticos, entre los que incluye a Heráclito, Parménides, Empédocles, Anaxágoras, Leucipo, Demócrito y a los pitagóricos; sin omitir, por supuesto Platón y Aristóteles, a los que añade un apartado dedicado a los estoicos. El segundo periodo tratado en *Filosofía de la naturaleza* se centra en la modernidad, y abarca autores como Galileo, Descartes, Spinoza e Isaac Newton.

Si bien la obra se centra solamente en esos dos periodos históricos —deja de lado la época medieval, la ilustración y los problemas de filosofía de la naturaleza del siglo XX—, el libro cumple su papel introductorio para alumnos y para interesados con poca o nula formación previa en filosofía de la naturaleza.

* * *

HÉCTOR VELÁZQUEZ (2007), *¿Qué es la naturaleza? Introducción filosófica a la historia de la ciencia*, México D.F., Porrúa, 279 pp.

Para no arriesgarse a volver a descubrir el Mediterráneo, conviene conocer lo que se ha dicho con anterioridad en la disciplina a la que uno se inicia. Aunque el título de esta obra no haga referencia directa a la filosofía de la naturaleza, gran cantidad del material presente en *¿Qué es la naturaleza? Introducción filosófica a la historia de la ciencia* concierne a cuestiones capitales de esta materia, abordadas desde una perspectiva histórica. La finalidad de la obra es presentar las diferentes teorías que han intentado dar cuenta de la naturaleza desde una perspectiva filosófico-científica.

Héctor Velázquez ha dividido esta obra en varios capítulos que se ordenan cronológicamente. Comenzando desde los primeros pensadores que se cuestionan el estatuto de nuestro mundo, así como matemáticos y científicos que metodológicamente marcan el camino a seguir para las generaciones ulteriores, prosigue más adelante también con las

aportaciones presentes en la Edad Media y en el mundo árabe. Seguidamente hay un capítulo centrado en los avances realizados en la Modernidad, como por ejemplo la explicación mecanicista de Newton, quien se autodenominaba «filósofo natural». Más adelante Velázquez presenta un capítulo dedicado a los siglos XVIII y XIX, donde toman protagonismo las teorías metafóricas sobre la realidad; y otro dedicado al positivismo del siglo XIX, para terminar los apartados históricos con un repaso del indeterminismo en las ciencias contemporáneas y cómo acogen la noción de naturaleza.

Los dos últimos capítulos muestran algo muy importante de la filosofía de la naturaleza: no se trata solamente de una disciplina histórica, sino que también se plantea y cuestiona dificultades actuales de raíz filosófica pero con derivaciones éticas y sociales. En estos dos capítulos la obra abandona el carácter histórico para centrarse en aportaciones propias del autor, que consisten, primero, en una revisión del transhumanismo, una corriente que se centra en la posibilidad de la tecnología traspasando nuestra naturaleza humana. Ello supondría una pérdida de igualdad según Velázquez, quien se alinea con las objeciones de Francis Fukuyama. El último capítulo se centra en las consecuencias ecológicas de nuestra actuación en el mundo que se hace presente con nuestra instrumentalización del mundo. Ambos capítulos con implicaciones que conciernen a la ética y la bioética.

---

1 Este trabajo ha sido financiado con fondos del programa FPU (Formación del Profesorado Universitario) del Gobierno de España, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, con referencia FPU13/00725.

Bibliografía referenciada

D.Z. ALBERT (2000), *Time and Chance*, Cambridge, Harvard University Press.

R. ALEMAÑ (2014), *Física. Del átomo al universo*, Córdoba, Almuzara.

— (2015), *La naturaleza imaginada. ¿Es matemático el mundo?*, Moscú, URSS.

J.l.R. D'ALEMBERT (1967), *Essai sur les éléments de philosophie*, en: *Oeuvres*, Genève, Slatkine, vol. I, pp. 299-345.

M. ALFONSECA (1993), *La Vida en Otros Mundos. A la Búsqueda de Inteligencia Extraterrestre*, Madrid, Mc Graw Hill.

G. ALLEN (1983), *La ciencia de la vida en el siglo XX*, México D.F., F.C.E.

G. AMENGUAL (2007), *Antropología filosófica*, Madrid, BAC.

R. AMUNDSON (2005), *The Changing Role of the Embryo in Evolutionary Thought: Roots of Evo-Devo*, Cambridge, Cambridge University Press.

J. ARANA (1979), «El problema de la unidad del conocimiento en Christian Wolff», *Anuario filosófico*, vol. XII-2, pp. 9-29.

— (1999), *Claves del conocimiento del mundo. 1. Materia y movimiento*, Sevilla, Ed. Kronos.

— (2001), *Materia, Universo, Vida.* Madrid, Tecnos.

— (2012), *Los sótanos del universo.* Madrid, Biblioteca Nueva.

— (2015a), «Los múltiples rostros del determinismo», en: Claudia E. VANNEY y Olimpia LOMBARDI (eds.), *Fronteras del determinismo científico. Filosofía y ciencias en diálogo*, Madrid, Biblioteca Nueva, pp. 23-39.

— (2015b), *La Conciencia Inexplicada*, Madrid, Biblioteca Nueva.

R. ARIEW; A. GABBEY (1998), «Body and the Physical World. The Scholastic Background», en: D. GARBER, M. AYERS (eds.), *The Cambridge History of Seventeenth-Century Philosophy*, Cambridge, I, pp. 425-453.

ARISTÓTELES (1970), *Metafísica*, trad. V. García Yebra, Madrid, Gredos.

— (1978), *Acerca del Alma*, Madrid, Gredos.

— (1984), *The Complete Works of Aristotle*. The Revised Oxford Translation ed. de J. Barnes, Princeton, Princeton University Press.

M.L. ARNOLD; Y. SAPIR; N.H. MARTIN (2008), «Genetic exchange and the origin of adaptations: prokaryotes to primates», *Philosophical Transactions of the Royal Society* B: Biological Sciences, 12, 363, pp. 2813-2810.

J.L. ARSUAGA (1998), *La especie elegida*, Madrid, Temas de hoy.

— (2001), *El enigma de la esfinge*, Barcelona, Plaza y Janés.

J. AUDRETSCH (1988), «Ist die Raum-Zeit gekrümmt? Der Aufbau der modernen Gravitationstheorie», en: J. AUDRETSCH; K. MAINZER (eds.), *Philosophie und Physik der Raum-Zeit*, Mannheim, pp. 52-82.

— (1990), «Eine andere Wirklichkeit. Zur Struktur der Quantenmechanik und íhrer Interpretation», en: J. AUDRETSCH/ K. MAINZER (eds.), *Wieviele Leben hat Schrödingers Katze*, Mannheim, pp. 16-61.

S.Y. AUYANG (1998), *Foundations of Complex-System Theories: in Economics, Evolutionary Biology, and Statistical Physics*, Cambridge: Cambridge University Press.

F.J. AYALA (1995), *Origen y evolución del hombre*, Madrid, Alianza Editorial.

F.J. AYALA; Th. DOBZHANSKY (eds.) (1983), *Estudios sobre la filosofía de la biología*, Barcelona, Ariel.

J.R. AYLLÓN (2011), *Antropología filosófica*, Barcelona, Ariel.

B.J. BAARS; N.M. GAGE (eds.) (2007), *Cognition, Brain, and Consciousness*. Amsterdam, Elsevier.

P. BAK (1996), *How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality*, Berlin, Springer.

A. BALBI (2008), *The Music of the Big Bang. The Cosmic Microwave Background and the New Cosmology*, Berlin, Springer.

L. BARNES (2012), «The fine-tuning of the universe for intelligent life», *Publications of the Astronomical Society of Australia* 29, Issue 4, pp. 529-564.

J. BARROW; F. Tipler (1986), *The Anthropic Cosmological Principle*, Oxford, Oxford University Press.

A. BARTELS (1996), *Grundprobleme der modernen Naturphilosophie*, Paderborn, UTB.
R.W. BATTERMANN (2000), «Multiple Realizability and Universality», *Brit. J. Phil. Sci.* 51, pp. 115-145.
— (2002), *The Devil in the Details*, Oxford, Oxford University Press.
K. BAYERTZ; M. GERHARD; W. JAESCHKE (eds.) (2007), *Der Materialismusstreit*, Hamburg.
W. BECHTEL (2008), *Mental Mechanisms*, London, Routledge.
W. BECHTEL; R.C. RICHARDSON (1993), *Discovering Complexity: Decomposition and Localization as Strategies in Scientific Research*, Princeton, Princeton University Press.
A. BECKERMANN (2008), *Analytische Einführung in die Philosophie des Geistes*, Berlin.
A. BECKERMANN; H. FLOHR; J. KIM (eds.) (1992), *Emergence or Reduction? - Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism*, Berlin, Walter de Gruyter.
C. BEISBART (2009), «Can we justifiably asume the cosmological principle in order to break model underdetermination in cosmology?», *Journal for General Philosophy of Science* 40, pp.175-205.
M.R. BENNETT; P.M.S. HACKER (2003), *Philosophical Foundations of Neuroscience*, Malden, Blackwell Publishing.
— (2008), *History of Cognitive Neuroscience*. Chichester / Malden, Wiley-Blackwell.
— (2010), *Die philosophischen Grundlagen der Neurowissenschaften*. Darmstadt, Wiss. Buchgesellschaft.
C. BEORLEGUI (2009), «La singularidad del ser humano como animal biocultural», *Letras de Deusto* núm. 125 (vol. 39), pp. 59-93.
I. BODNAR; P. PELLEGRIN (2006), «Aristotle´s Physics and Cosmology», en: M.L. GILL; P.PELLGRIN (eds.): *A Companion to Ancient Philosophy*, Oxford, pp. 270-291.
J.D. BOHM (1987), *La totalidad y el orden implicado*, Barcelona, Kairós.
H. BONDI (1972), *Cosmología*, Barcelona, Labor.
E. BOREL (1974), *El azar*, Buenos Aires, La Pleyade.

C. BORMANN *et al.* (1972), «Art. «form und materie»», en: *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, Bd. 2, Basel, pp. 975-1030.

K. BRADING y E. CASTELLANI (eds.) (2003), *Symmetries in Physics: Philosophical Reflections*, Cambridge, Cambridge University Press.

M. BUNGE (1967), *Foundations of Physics*, New York, Springer.

— (1983), *Controversias en física*, Madrid, Tecnos.

— (1989), *Mente y sociedad*, Madrid, Alianza.

— (2007), *A la caza de la realidad*, Barcelona, Gedisa.

R. BUXTON (ed.) (1999), *From Myth to Reason? Studies in the Development of Greek Thought*, Oxford.

S. CAMAZINE; J.-L. DENEUBOURG *et al.* (2003), *Self-Organization in Biological Systems: (Princeton Studies in Complexity)*, Princeton, Princeton University Press.

W.B. CANNON (1963), *The Wisdom of the Body*, Nueva York, W.W. Norton & Company.

R. CARNAP (1969), *La fundamentación lógica de la física*, Buenos Aires, Editorial Sudamericana.

B. CARR (ed.) (2007), *Universe or Multiverse?*, Cambridge, Cambridge University Press.

C. CASTRODEZA (1999), *Razón biológica. La base evolucionista del pensamiento*, Madrid, Minerva Ediciones.

— (2009), *La darwinización del mundo*, Barcelona, Herder.

C. CELA CONDE; F. AYALA (2013), *Evolución humana: el camino de nuestra especie*, Madrid, Alianza.

J. CHOZA (1988), *Manual de Antropología Filosófica*, Madrid, Rialp.

— (2014), *Filosofía de la Cultura*, Sevilla, Thémata.

P.S. CHURCHLAND (2005), «Die Neurobiologie des Bewußtseins: Was können wir von ihr lernen?», en: T. METZINGER (ed.), *Bewußtsein. Beiträge aus der Gegenwartsphilosophie*, Paderborn, Mentis, pp. 463-490.

D. CLARKE (1986), *La filosofía de la ciencia de Descartes*, Madrid, Alianza.

B. COHEN (2008), «Understanding the fine tuning in our universe», *The Physics Teacher* 46, Issue 5, pp. 285-289.

R. COLLINS (2005), «La evidencia del ajuste fino», en: F.J. SOLER (ed.), *Dios y las Cosmologías Modernas*, Madrid, BAC, pp. 21-47.

A. COMTE (1835), *Cours de philosophie positive*, Paris, Bachelier.

C.F. CRAVER (2007), *Explaining the Brain*, Oxford, Clarendon Press.

F. CRICK (1966), *Of molecules and man*, Settle, University of Washington Press.

J.T. CUSHING (1998), *Philosophical Concepts in Physics*, Cambridge, Cambridge University Press.

A. DAMASIO, (1994), *Descartes' Error: Emotion, Reason and the Human Brain*, Nueva York, Avon Books.

— (1999), *The Feeling of What Happens: Body and Emotion in the Making of Consciousness*, Nueva York, Harcourt Brace.

— (2003), *Looking for Spinoza: Joy, Sorrow, and the Feeling Brain,* Orlando, Harcourt.

Ch. DARWIN, (1968), *The Origin of Species*. Edited by J.W. Burrow, Harmondsworth-Nueva York, Penguin.

P. DAVIES (2007), «Universes galore: where will it all end?», en: B. CARR (ed.), *Universe or Multiverse*?, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 487-505.

R. DAWKINS, (1989), *The Selfish Gene*, Oxford, Oxford University Press.

P. DEAR (2006), *The Intelligibility of Nature: How Science Makes Sense of the World*, Chicago, University of Chicago Press.

M. DELIBES DE CASTRO (2006), *La tierra herida*, Barcelona, Destino.

D.C. DENNETT (1991), *Consciousness Explained*, Boston, Little Brown and Co.

— (1995), *Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life*, Nueva York, Simon and Schuster.

R. DESCARTES (1996), *Principes de philosophie, Oeuvres*, ed. Adam-Tannery, Paris, Vrin, vol. IX-2.

W. DETEL *et al.* (1980), «Art. «Materie»», en: *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, vol. 5, Basel, pp. 870-924.

P. DIACONIS (1998), «A place for philosophy? The rise of modeling in statistical science», *Q. Appl. Math.* LVI, pp.

797-805.
M. DICKSON (2011), «Aspects of Probability in Quantum Theory», en: C. BEISBART; S. HARTMANN (eds.), *Probabilities In Physics*, Oxford, Oxford University Press, pp. 171-199.
A. DIÉGUEZ (2010), *La evolución del conocimiento: de la mente animal a la mente humana*, Madrid, Biblioteca Nueva.
H. DIELS; W. KRANZ (1968-1969), *Die Fragmente der Vorsokratiker*, Dublin-Zurich, Weidmann.
E.J. DIJKSTERHUIS (1983), *Die Mechanisierung des Weltbildes*, Berlin.
C. DIOSDADO (2010), «¿Se reduce el ansia de curiosidad intelectual meramente a las leyes de la materia Cósmica?», en: C. DIOSDADO *et al.* (eds.) *Neurofilosofía. Perspectivass contemporáneas*,Madrid, Plaza y Valdés.
Th. DOBZHANSKY (1937), *Genetics and the origin of species*, Nueva York, Columbia University Press.
P. DUHEM (s.f.), *Le système du monde*, Paris, Hermann.
A. EAGLE (2004), «Twenty-one arguments against propensity analyses of probability», *Erkenntnis* 60, pp. 371-416.
J. EARMAN (1986), *A Primer on Determinism*, Dordrecht, Reidel.
A. EINSTEIN (1917), «Kosmologische Betrachtungen zur Allgemeinen Relativitätstheorie», *Preussische Akademie der Wissenschaften, Sitzungsberichte*, Teil 1, pp. 142-152.
— (1982), *Mis Ideas y Opiniones*, Barcelona, Antoni Bosch.
— (2001), «Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento», en: J. STACHEL (ed.), *Einstein 1905: un año milagroso*, Barcelona, Crítica, pp. 111-143.
A. EINSTEIN; M. BESSO (1972), *Correspondance (1903-1955)*, París, Hermann.
A. EINSTEIN; M. BORN; H. BORN (1973), *Correspondencia (1916-1955)*, Madrid, Siglo XXI.
A. ELGA (2004), «Infinitesimal chances and the laws of nature», *Australasian Journal of Philosophy* 82, pp. 67-76.
M. ELIADE (1954), *The Myth of the Eternal Return: Cosmos and History*, Princeton, Princeton University Press.
— (1972), *El mito del eterno retorno*, Madrid, Alianza.
G.F.R. ELLIS; G.B. BRUNDRIT (1979), «Life in the infinite

universe» en: *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society* 20, pp. 37-41.
N. ELDREDGE; S.J. GOULD (1972), «Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism», en: Th.J.M. SCHOPF (ed.), *Models in paleobiology*, San Francisco, Freeman Cooper and Co., pp. 82-115.
K. ENGELHARD (2005), *Das Einfache und die Materie. Untersuchungen zu Kants Antinomie der Teilung*, Berlin.
M. ESFELD (2012), *Physique et métaphysique: une introduction à la philosophie de la nature*, Laussane, Presses polytechniques et universitaires romandes.
M. ESPINOZA (2000), *Philosophie de la nature*, Paris, Ellipses.
— (2006), *Théorie du déterminisme causal*, Paris, L'Harmattan.
M. ESPINOZA; R. TORRETTI (2004), *Pensar la ciencia: estudios críticos sobre obras filosóficas (1950-2000)*, Madrid, Tecnos.
B. FALKENBURG (2000), *Kants Kosmologie*, Frankfurt a.M.
— (2007), *Particle Metaphysics*, Heidelberg, Springer.
— (2012), «Was sind subatomare Teilchen?», en: M. ESFELD (ed.), *Philosophie der Physik*, Frankfurt a. M., Suhrkamp, pp. 158-184.
— (2012), *Mythos Determinismus*, Heidelberg, Springer.
P.K. FEYERABEND (1974), «Filosofía de la ciencia: una materia con un gran pasado», *Teorema*, pp. 11-27.
B. DE FINETTI (1931), «Sul significato soggettivo della probabilità», *Fundamenta Mathematica* 17, pp. 298-329.
— (1964), «Foresight: Its logical laws, its subjective sources», en: H. E. Kyburg; H. E. Smokler (eds.), *Studies in Subjective Probability*, New York, John Wiley & Sons, pp. 93-158.
— (1989), «Probabilism: A critical essay on the theory of probability and on the value of science», *Erkenntnis* 31, pp. 169-223.
R. FOLEY (2000), *Humanos antes de la humanidad*, Barcelona, Editions Bellaterra.
C. FRIEBE *et al.* (2015), *Philosophie der Quantenphysik*, Berlin/ Heidelberg.
M. FRIEDMAN (1991), *Fundamentos de las teorías del espacio-tiempo*, Madrid, Alianza.

C.A. FUCHS; R. SCHACK (2011), «A Quantum-Bayesian Route to Quantum-State Space», *Foundations of Physics* 41, pp. 345-356.

T. FUCHS (2010), *Das Gehirn - ein Beziehungsorgan*, Stuttgart, Kohlhammer.

G. GALILEI (1890), *Opere*, ed. A. Favaro, Firenze, Barbèra.

P. GALISON (2005), *Relojes de Einstein, mapas de Poincaré*, Barcelona, Crítica.

D. GARBER (1992), *Descartes´ Metaphysical Physics*, Chicago/ Londres.

X. GARCÍA RAFFI (2011), *La teoría de la relatividad y los orígenes del positivismo lógico*, Valencia, PUV.

J.-L. GARCÍA-GIMÉNEZ (2012), «Epigenética. La gramática del código genético», *Journal of Feelsynapsis*, 4, pp. 34-38.

D. GILLIES (2000), *Philosophical Theories of Probability*, London, Routledge.

J.L. GONZÁLEZ RECIO (2004), *Teorías de la vida*, Madrid, Síntesis.

— (2009), «Philosophy of Biology Throughout Time: The Province, The Kingdom and The Colonies», en J.L. GONZÁLEZ RECIO (ed.), *Philosophical Essays on Physics and Biology*, Hildesheim, Georg Olms, pp. 161-177.

— (2010), «La recepción de los textos de Darwin y Wallace en *la Linnean Society*. Una crónica del silencio», *Éndoxa,* 24, pp. 61-88.

B. GOODWIN (1977), *How the Leopard Changed Its Spots: The Evolution of Complexity*, Nueva York, Phoenix.

S.J. GOULD (1977), *Ontogeny and Phylogeny*, Cambridge, Harvard University Press.

K. GAISER (1963), *Platons Ungeschriebene Lehre*, Stuttgart.

M.S. GAZZANIGA (2010), *¿Qué nos hace humanos?*, Barcelona, Paidós.

M.L. GILL (2006), «Aristotle´s FIRST PHILOSOPHY», en: M.L.GILL; P.Pellgrin (eds.): *A Companion to Ancient Philosophy*, Oxford, pp. 347-373.

G. GRANT (2007), *A History of Natural Philosophy*, Cambridge, University Press.

S.A. GREENFIELD (1997), *The Human Brain*, Basic Books.
— (2003), *Reiseführer Gehirn*, Heidelberg, Spektrum.
J. und W. GRIMM (1999), *Deutsches Wörterbuch*, Munich.
I. HACKING (1975), *The Emergence of Probability*, Cambridge, Cambridge University Press.
— (1990), *The Taming of Chance*, Cambridge, Cambridge University Press.
S. HACYAN (2004), *Física y metafísica del espacio y del tiempo*, México, F.C.E.
A. HÁJEK (1997), «"Mises Redux" - Redux: Fifteen arguments against finite frequentism», *Erkenntnis* 45, pp. 209-227.
— (2009), «Fifteen arguments against hypothetical frequentism», *Erkenntnis* 70, pp. 211-235.
A. HÁJEK; S. HARTMANN (2010), «Bayesian Epistemology», en: J. DANCY *et al.* (ed.), A *Companion to Epistemology*, Oxford, Blackwell, pp. 93-106.
H. HAKEN (1990), *Synergetik*, Berlin, Springer.
H. HAKEN; A. WUNDERLIN; S. YIGITBASI (1996), «On the Foundations of Synergetics», en: P. WEINGARTNER; G. SCHURZ (eds.), *Law and Prediction in the Light of Chaos Research*, Berlin, Springer.
M. HAMPE (2007), *Eine kleine Geschichte des Naturgesetzbegriffs*, Frankfurt/M.
H. HAPP (1971), *Hyle. Studien zum aristotelischen Materie-Begriff*, Berlin/Nueva York.
M. HARRIS (1995), *Nuestra especie*, Madrid, Alianza Editorial.
N. HARTMANN (1954), *Ontología*, México, F.C.E.
S. HARTMANN, S. (1995), Artikel «*Simulation*», en: J. Mittelstrass, *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie*, Stuttgart, Metzler, Tomo 3.
— (1996), «The World as a Process», en: R. Hegselmann et al. (eds.), *Modelling and Simulation in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View*, Dordrecht, Kluwer, pp. 77-100.
St. HAWKING; R. PENROSE (2012), *La naturaleza del espacio y el tiempo*, Barcelona, Debolsillo.
M. HEIDEGGER (2003), *Ser y Tiempo*, Madrid, Trotta.

W. HEISENBERG (1975), *Diálogos sobre física atómica*, Madrid, BAC.

H. V. HELMHOLTZ (1966), *Abhandlungen zu Philosophie und Naturwissenschaft*, Darmstadt, WB.

J. HIERRO-PESCADOR (2005), *Filosofía de la mente y de la ciencia cognitiva*, Madrid, Akal.

C. HORGAN (2000), «Why the universe is just so», *Rev.Mod.Phys.* 72, pp. 1149-1161.

— (2007), «Quarks, electrons and atoms in closely related universes», en: B. CARR (ed.), *Universe or Multiverse?*, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 221-230

M. HOSSENFELDER (1995), *Stoa, Epikureismus und Skepsis*, Munich.

C. HUBER; G. WÄCHTERSHÄUSER (1997), «Activated acetic acid by carbon fixation on (Fe, Ni) S under primordial conditions», *Science*, 276, p. 5310.

P. HUMPHREYS (1985), «Why Propensities Cannot be Probabilities», *The Philosophical Review* 94, pp. 557-570.

— (2004), *Extending Ourselves: Computational Science, Empiricism, and Scientific Method*, Oxford: Oxford University Press.

A. HÜTTEMANN (2007), «Naturgesetze», en: A. BARTELS; M. STÖCKLER (eds.), *Wissenschaftstheorie*, Paderborn, pp. 135-153.

M. INGMANN (2000), «Mithocondrial genome variation and the origin of modern humans», *Nature* 408, pp. 708-713.

F. JACOB (1970), *La logique du vivant: une historie de l'hérédité*, París, Gallimard.

M. JAMMER (1967), «Art. "Energy"», en: P. EDWARDS (ed.), *The Encyclopedia of Philosophy*, Nueva York/Londres, vol. II, pp. 510-517.

— (1972), «Art. "Fernwirkung"», en: J. RITTER; K. GRÜNDER (ed.), *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, tomo 2, Basel.

— (1974), *The Philosophy of Quantum Mechanics*, New York, John Wiley.

— (1974b), *Der Begriff der Masse in der Physik*, Darmstadt.

— (2006), *Concepts of Simultaneity. From Antiquity to Einstein and Beyond*, Baltimore, The John Hopkins University Press.

E.T. JAYNES (1957), «Information theory and statistical mechanics», *Physical Review* 106, pp. 620-630.

T. K. JOHANSEN (2004), *Plato´s Natural Philosophy*, Cambridge.

L. JUDSON (ed.) (1991), *Aristotle´s Physics*, Oxford.

B. KANITSCHEIDER (2002), *Kosmologie*, Stuttgart, Reclam.

I. KANT (1968), *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*, 1786, en: *Kants gesammelte Schriften*, Berlin, Gruyter, vol. IV.

J. B. KELLER (1986), «The probability of heads», *The American Mathematical Monthly* 93, pp. 191-197.

S.H. KELLERT (1993), *In the Wake of Chaos*, Chicago, The University of Chicago Press.

M. KIMURA (1983), *The Neutral Theory of Molecular Evolution*, Cambridge, Cambridge University Press.

G. KOCH (1994), *Kausalität, Determinismus und Zufall in der wissenschaftlichen Naturbeschreibung*, Berlin, Duncker und Humblot.

A.N. KOLMOGOROV (1956), *Foundations of the Theory of Probability*, New York, Chelsea.

H. KRAGH (2007), *Conceptions of Cosmos. From Myths to the Accelerating Universe: A History of Cosmology*, Oxford, Oxford University Press.

A. KREMER-MARIETTI (1999), *Philosophie des sciences de la nature*, París, Presses Universitaires de France.

J. VON KRIES (1927), *Die Principien der Wahrscheinlichkeitsrechnung: Eine logische Untersuchung*, Tübingen, J. C. B. Mohr.

W. KROHN; G. KÜPPERS (1990), *Selbstorganisation: Aspekte einer wissenschaftlichen Revolution*, Wiesbaden, Vieweg.

L. KRÜGER (1995), «Ist Materie vernünftig zu begreifen?», *Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, Philologisch-historische Klasse*, Nr. 2, pp. 31-52.

M. KUHLMANN (2010), *The Ultimate Constituents of the Material World. In Search of an Ontology for Fundamental Physics*, Frankfurt a.M.

M. KUHLMANN; H. LYRE; A. WAYNE (eds.) (2002): *Ontological Aspects of Quantum Field Theory*, New Jersey.

B.-O, KÜPPERS (1991), *Ordnung aus dem Chaos - Prinzipien der Selbstorganisation und Evolution des Lebens*, München, Piper.

B. KURTÉN (1996), *Nuestros antepasados más remotos*, Madrid, Alianza Editorial.

P. LAÍN ENTRALGO (1978), *Historia de la medicina*, Barcelona, Salvat.

J.-B. DE MONET, CABALLERO DE LAMARCK (1994), *Philosophie zoologique ou exposition des considerations relatives a l'histoire naturelle des animaux*, París, Flammarion.

— (1969), *Histoire naturelle des animaux sans vertèbres*, Bruselas, Culture et Civilisation.

P.S. LAPLACE (1814), *Essai philosophique sur les probabilités*, Paris, Courcier.

S. LATOUCHE (2009), *Decrecimiento y posdesarrollo*, Barcelona, El Viejo Topo.

R. LENOBLE (1969), *Histoire de l'idée de nature*, París, Albin Michel.

J. LESLIE (1989), *Universes*, Londres, Routledge.

D. LEWIS (1973), *Counterfactuals*, Oxford, Blackwell.

— (1986), «Introduction», en: *Philosophical Papers*, Vol. II. Oxford, Oxford University Press, pp. ixxvii.

D. LEWIS (1994), «Humean Supervenience Debugged», *Mind* 103, pp. 473-90.

J. LOEB (1964), *The Mechanistic Conception of Life*, Cambridge, Harvard University Press.

B. LOEWER (2001), «Determinism and Chance», *Stud. Hist. Phil. Mod. Phys.* 32, pp. 609-620.

N. LÓPEZ MORATALLA (2007), *La dinámica de la evolución humana: más con menos*, Pamplona, Eunsa.

E.N. LORENZ (1963), «Deterministic Nonperiodic Flow», *Journal of the Atmospheric Sciences* 20/2, pp. 130-141.

J. LOSEE (1976), *Introducción histórica a la filosofía de la ciencia*, Madrid, Alianza.

N. LUHMANN (1987), *Soziale Systeme: Grundriß einer allgemeinen Theorie*, Frankfurt, Suhrkamp.

K. MAINZER (1996), *Materie*, Munich.

— (2004), *Thinking in Complexity: The Computational Dynamics of*

Matter, Mind, and Mankind, Berlin, Springer.
R.N. MANTEGNA; H.E. STANLEY (2000), *An Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Financ*e, Cambridge, Cambridge University Press.
A. MARCOS (2015), «Naturaleza humana y derechos de los animales», en: A. DIÉGUEZ; J. M. ATENCIA (eds.) *Naturaleza animal y humana*, Madrid, Biblioteca Nueva, pp. 161-185.
L. MARGULIS (1970), *Origin of Eukaryotic Cells*, New Haven, Yale University Press.
J. MARITAIN (1967), *Filosofía de la Naturaleza*, Buenos Aires, Club de Lectores.
J. MARTÍNEZ CONTRERAS; V. ARÉCHIGA (eds.) (2007), *En busca de lo humano. Ciencia y filosofía*. México D.F., Centro de estudios filosóficos, políticos y sociales Vicente Lombardo Toledano.
E. MAYR (1942), *Systematics and the Origin of Species*, Nueva York, Columbia University Press.
— (1982), *The Growth of Biological Thought*, Cambridge (Mass.), Harvard University Press.
— (2004), *What makes biology unique? Considerations on the Autonomy of a Scientific Discipline*, Nueva York, Cambridge University Press.
R.D. MCKIRAHAN (1994), *Philosophy before Socrates*, Indianapolis/Cambridge.
E. MCMULLIN, (ed.) (1965), *The Concept of Matter in Greek and Medieval Philosophy*, Notre Dame (Ind.).
— (1978), *The Concept of Matter in Modern Philosophy*, Notre Dame (Ind.).
Ch. MEINEL (1988), «Early Seventeenth Century Atomism», *Isis* 79, pp. 68-103.
H. MELLOR (2005), *Probability: A Philosophical Introduction*, London, Routledge.
G. MENDEL (1984), «Experimentos de hibridación de plantas», en: J. R. LACADENA, (ed.), *La genética ayer y hoy*, Madrid, Alhambra, pp. 1-48.
E. MEYERSON (1929), *Identidad y realidad*, Madrid, Reus.
J.S. MILL (1917), *Sistema de Lógica inductiva y deductiva*, Madrid,

D. Jorro.
— (1984), *Autobiografía*. Buenos Aires, Espasa Calpe.
D. MILLER (1994), *Critical Rationalism. A Restatement and Defence*, Chicago and La Salle, Open Court.
S. MIRET (2015), *Mecánica cuántica*, Madrid, CSIC - Catarata.
R. VON MISES (1951), *Wahrscheinlichkeit, Statistik und Wahrheit*, Wien, Springer.
— (1957), *Probability, Statistics and Truth*, London, George Allen & Unwin.
J. MONOD (1970), *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, París, Éditions du Seuil.
D. MORRIS (1968), *El mono desnudo*, Barcelona, Plaza y Janés.
Th. NAGEL (2014), *La Mente y el Cosmos*, Madrid, Biblioteca Nueva.
V. NAVARRO BROTONS (2014), *Disciplinas, saberes y prácticas. Filosofía natural, matemáticas y astronomía en la sociedad española de la época moderna*, Valencia, Universidad de Valencia.
A. NEWEN (2000), «Selbst und Selbstbewußtsein aus philosophischer und kognitionswissenschaflticher Perspektive», en: A. NEWEN; H. VOGELEY (eds.), *Selbst und Gehirn.* Paderborn, Mentis.
I. NEWTON (1987), *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*, edición de E. Rada, Madrid, Alianza Editorial.
G. NICOLIS; I. PRIGOGINE (1977), *Self-Organization in Non-Equilibrium Systems*, New York, Wiley.
W. NIEKE *et al.* (1980), «Art. 'Materialismus'», en: *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, tomo 5, Basel, pp. 870-924.
J. ORTEGA Y GASSET (1972), *¿Qué es filosofía?*, Madrid, Revista de Occidente.
W. OSTWALDT (1902), *Vorlesungen über Naturphilosophie*, Leipzig, Veit.
— (1908), *Die Energie*, Leipzig.
W. OTT (2009), *Causation and Laws of Nature in Early Modern Philosophy*, Oxford, Oxford University Press.
R. PANIKKAR (1971), *El concepto de naturaleza*, Madrid, CSIC.

R. Penrose (2006), *El camino a la realidad. Una guía completa a las leyes del universo*, Barcelona, Debate.
F. PESSOA (2012), *O Guardador de Rebanhos*, Sao Paulo, Montecristo Editora.
J.M. PETIT SULLÁ (1980), *La filosofía de la naturaleza como saber filosófico*, Barcelona, Acervo.
D. PINEDA (2012), *La mente humana. Introducción a la filosofía de la psicología*, Madrid, Cátedra.
PLATÓN (1992), *Timeo*, trad. de A. Durán y F. Lisi, Madrid, Gredos.
O. PLUTA (1997), «Materialismus im Mittelalter», en: K. Flasch; U. R. Jeck (eds.), *Das Licht der Vernunft. Die Anfänge der Aufklärung im Mittelalter*, Munich, pp. 134-145.
H. POINCARÉ (1912), *Calcul des probabilites*, Paris, Gauthier-Villars.
K. R. POPPER (1959), «The propensity interpretation of probability», *British Journal for the Philosophy of Science* 10, pp. 25-42.
— (1977), *Búsqueda sin término*, Madrid, Tecnos.
— (1986), *El universo abierto. Un argumento en favor del indeterminismo*, Madrid, Tecnos.
— (1990), *A World of Propensities*, Bristol, Thoemmes.
— (1994), *In Search of a Better World*, Oxford, Routledge.
I. PRIGOGINE (1997a), *End of Certainty*, New York, The Free Press.
— (1997b), *El fin de las certidumbres*, Madrid, Taurus.
I. PRIGOGINE; I. STENGERS (1983), *La nueva alianza. Metamorfosis de la ciencia*, Madrid, Alianza Editorial.
W.V.O. QUINE (1984), «Dos dogmas del empirismo» (1951), en: *Desde un punto de vista lógico*, Barcelona, Orbis.
V. S. RAMACHANDRAN (2003), *The Emerging Mind*, The Reith Lectures.
— (2005), *Eine kurze Reise durch Geist und Gehirn*, Reinbek, Rowohlt.
E. RAMÍREZ GOICOECHEA (2013), *Antropología biosocial. Biología, cultura y sociedad*, Madrid, Editorial Universitaria Ramón Areces.

F.P. RAMSEY, 1926 (1964), «Truth and probability», en: H. KYBURG & H. SMOKLER (ed.), *Studies in Subjective Probability*, New York, JohnWiley & Sons, pp. 63-92.

C. RAPP (2007), *Vorsokratiker*, Munich.

M. REES (2001), *Our Cosmic Habitat*, Princeton, Princeton University Press.

— (2003), *Das Rätsel unseres Universums. Hatte Gott eine Wahl?*, Munich, Beck.

H. REICHENBACH (1958), *The Philosophy of Space and Time*, New York, Dover Publications.

— (1975), «Estado actual de la discusión sobre la relatividad», en: *Moderna filosofía de la ciencia*, Madrid, Tecnos, 1975, pp. 13-62.

R. RIEDL (1978), *Order in Living Systems: A Systems Analysis of Evolution*, Nueva York, Wiley.

— (1984), *Biology of Knowledge: The Evolutionary Basis of Reason*, Chichester, John Wiley & Sons.

A. RIOJA; J. ORDÓÑEZ (1999-2006), *Teorías del universo*, Madrid, Síntesis, 3 vols.

J. M. RIST (1969), *Stoic Philosophy*, Cambridge.

F. RODRÍGUEZ VALLS (2009), *Antropología y utopía*, Madrid, Plaza y Valdés.

— (ed.) (2012), *La inteligencia en la naturaleza: del relojero ciego al ajuste fino del universo*, Madrid, Biblioteca Nueva.

W. RÖD (1984), D*ie Philosophie der Neuzeit 2*, Munich.

A. ROSENBERG (1985), *The Structure of Biological Science*, Cambridge, Cambridge University Press.

— (1994), *Instrumental Biology, or the Disunity of Science*, Chicago, University of Chicago Press.

J. ROSENTHAL (2012), «Probabilities as ratios of ranges in initial-state spaces», *Journal of Logic, Language, and Information* 21, pp. 217-236.

G. ROTH (2006), «Gleichtakt im Neuronennetz», en: C. Könneker (ed.), *Wer erklärt den Menschen?* Frankfurt a. M., Fischer, pp. 23-31.

— (2009), *Aus Sicht des Gehirns*, Frankfurt a. M., Suhrkamp.

S. ROUX; D. GARBER. (eds.) (2013), *The Mechanization of*

Natural Philosophy.
C. ROVELLI (2011), «Some considerations on infinity in physics» en: M. HELLER; W.H. WOODIN, (eds.) (2011), *Infinity: New Research Frontiers*, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 167-175.
W. ROY LAIRD; S. Roux (eds.) (2007), *Mechanics and Natural Philosophy Before the Scientific Revolution*, Dordrecht, Springer.
E. RUHNAU (2005), «Zeit-Gestalt und Beobachter», en: T. METZINger (ed.), *Bewußtsein*, Paderborn, Mentis, pp. 201-220.
B. RUSSELL (1947), *Historia de la Filosofía Occidental*, Buenos Aires, Espasa-Calpe.
— (1969), *Análisis de la materia*, Madrid, Taurus.
— (1986), *Por qué no soy Cristiano*, Barcelona, Edhasa.
O.W. SACKS (2001), *Der Mann, der seine Frau mit einem Hut verwechselte*, Reinbek, Rowohlt.
W. SALMON (1979), «Propensities: A Discussion Review», *Erkenntnis* 14, pp. 213-214.
S. SAMBURSKY (1959), *Physics of the Stoics*, London.
— (1962), *The Physical World of Late Antiquity*, Nueva York.
F. SAVATER (1999), *Las Preguntas de la Vida*, Barcelona, Ariel.
J.C. SCHMIDT (2001), «Was umfaßt heute Physik? Aspekte einer nachmodernen Physik», *Philosophia naturalis* 38, pp. 271-297.
P. SCHNEIDER (2006), *Einführung in die extragalaktische Astronomie und Kosmologie*, Berlin, Springer.
E. SCHRÖDINGER (1975), *¿Qué es una ley de la naturaleza?*, México, FCE.
— *¿Qué es la vida?* (1976), Barcelona, Avance.
M. SCHROEDER (1994), *Fraktale, Chaos und Selbstähnlichkeit*, Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag.
C.S. Sherrington, (1961), *The Integrative Action of the Nervous System*, New Haven, Yale University Press.
H. SIMON (1994), *Die Wissenschaften vom Künstlichen*, Wien, New York, Springer.
K. SIMONYI (1990), *Kulturgeschichte der Physik*, Thun/Frankfurt/

M. W. SINGER (2002), *Der Beobachter im Gehirn - Essays zur Hirnforschung*, Frankfurt a. M., Suhrkamp.

B.F. SKINNER (1973), *Más allá de la libertad y la dignidad*, Barcelona, Fontanella.

B. SKYRMS (2003), *The Stag Hunt and Evolution of Social Structure*, Cambridge, Cambridge University Press.

J.M. SMITH; E. SZATHMÁRY (2000), *The Origins of Life: From the Birth of Life to the Origin of Language*, Oxford, Oxford University Press.

J. SNEED (1979), *The logical structure of mathematical physics*, Dordrecht, Reidel.

E. SOBER (1993), *Philosophy of Biology*, Oxford, Oxford University Press.

F. J. SOLER GIL (2003), *Aristóteles en el mundo cuántico. Una investigación acerca de la aplicabilidad del concepto de sustancia de Aristóteles a los objetos cuánticos.* Granada, Comares.

— (2013), *Mitología Materialista de la Ciencia*, Madrid, Ediciones Encuentro.

— (2016), *El Universo a Debate*, Madrid, Biblioteca Nueva.

F. J. SOLER GIL; M. ALFONSECA (2013), «Fine tuning explained? Multiverses and cellular automata», *Journal for General Philosophy of Science* 44, pp. 153-172.

— (2014), «About the infinite repetition of histories in space», *Theoria* 81, pp. 359-371.

F. SOLMSEN (1960), *Aristotle´s System of the Physical World*, Ithaca.

G.L. STEBBINS (1974), *Flowering Plants: Evolution Above the Species Level*, Cambridge (Mass.), Belknap Press.

A. STEPHAN (1999), *Emergenz: Von der Unvorhersagbarkeit zur Selbstorganisation*, Dresden, Dresden University Press.

M. STÖCKLER (1990), «Materie in Raum und Zeit?», *Philosophia naturalis* 27, pp. 111-135.

— (1991), «Reductionism and the new theories of self-organization», en: G. Schurz; G. Dorn, (eds.), *Advances of Scientific Philosophy*, Amsterdam, Rodopi, pp. 233-254.

— (1996), «Umsturz im Weltbild der Physik», en: L. Schäfer; E. Ströker (eds.), *Naturauffassungen in Philosophie, Wissenschaft,*

Technik, tomo. IV, Friburgo/Munich, pp. 35-64.
— (1999), «*Chaos*» en H. J. Sandkühler (ed.), *Enzyklopädie Philosophie*, Hamburg, Meiner.
— (2007), «Philosophische Probleme der Quantentheorie», en: A. Bartels; M. Stöckler (eds.), *Wissenschaftstheorie*, Paderborn, pp. 245-263.
M. STREVENS (2003), *Bigger than Chaos: Understanding Complexity through Probability.*, Cambridge, Harvard University Press.
— (2011), «Probability out of Determinism», en: C. BEISBART; S. HARTMANN (ed.), *Probabilities In Physics.* Oxford University Press, Oxford, pp. 339-364.
M. SUÁREZ (2013), «Propensities and Pragmatism», *The Journal of Philosophy* 110, pp. 61-92.
C. C. W. TAYLOR, (ed.) (1999), *The atomists: Leucippus and Democritus: Fragments: A text and translation with a commentary*, Toronto, University of Toronto Press.
M. TEGMARK (2003). «Universos paralelos», *Investigación y Ciencia*, julio, pp. 6-18.
D. W. THEOBALD (1966), *The Concept of Energy*, Londres.
W. THOMSON, Lord Kelvin (1971), *El camino hacia una teoría cinética de la materia*, en: *Opere*, Milano, Utet.
Tomás DE AQUINO (1968), *Suma contra gentes*, Madrid, BAC.
G. TONELLI (1975), «The problem of the classification of the sciences in Kant's time», *Rivista di Storia della Filosofia* 30, pp. 243-294.
R. TORRETTI (1983), *Relativity and Geometry*, Oxford, Pargamon Press.
— (1998), *Filosofía de la naturaleza*, Santiago de Chile, Editorial Universitaria.
S. TOULMIN; J. GOODFIELD (1962), *The Architecture of Matter*, Londres/ Nueva York.
— (1970), *Materie und Leben*, Munich.
H. VELÁZQUEZ FERNÁNDEZ (2007), *Descifrando el mundo. Ensayos sobre filosofía de la naturaleza. Navarra*, Pamplona, Cuadernos de Anuario Filosófico.
— (2007), *¿Qué es la naturaleza? Introducción filosófica a la*

historia de la ciencia, México D.F., Porrua.

— (2009), «Transhumanismo, libertad e identidad humana», en *Thémata* núm. 41, pp. 577-590.

J. VOIT (2001), *The Statistical Mechanics of Financial Markets*, Berlin, Heidelberg, New York, Springer.

D. WALLACE (2012), *The Emergent Multiverse: Quantum Theory according to the Everett Interpretation*, Oxford, Oxford University Press.

R. WESTFALL (1971), *The Construction of Modern Science*, Cambridge.

N. WIENER (1948), *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, Cambridge, MIT Press.

E.O. WILSON (1975), *Sociobiology, The New Synthesis*, Cambridge (Mass.), Harvard University Press.

L. WITTGENSTEIN (1973), *Tractatus lógico-philosophicus*, trad. de E. Tierno, Madrid, Alianza.

RECURSOS DE INTERNET

R. CLOWES *et al* (2012), «A structure in the early universe at z $\sim$ 1.3 that exceeds the homogeneity scale of the R-W concordance cosmology». (2012). Fuente: http://arxiv.org/abs/1211.6256.

G.F.R. ELLIS (2006), «Issues in the philosophy of cosmology». Fuente: http://arxiv.org/abs/astroph/0602280.

R. FRIGG; C. HOEFER (en prensa), «The Best Humean System for STATISTICAL MECHANICS», *Erkenntnis*, DOI 10.1007/s10670-013-9541-5.

J. GARRIGA; A. VILENKIN (2001), «Many worlds in one». Fuente: http://arxiv.org/abs/grqc/0102010.

G. GHIRARDI (2011), «Collapse THEORIES», en: ZALTA, E. N. (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2011 Edition),, URL = <http://plato.stanford.edu/archives/win2011/entries/qm-collapse/>.

Sh. GOLDSTEIN (2013), «Bohmian MECHANICS», en: ZALTA, E. N. (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2013 Edition), URL = <http://plato.stanford.edu/archives/spr2013/entries/qm-bohm/>.

A. HÁJEK (2012), «Interpretations of Probability», en: ZALTA, E.

N. (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2012 Edition), URL = <http://plato.stanford.edu/archives/win2012/entries/probability-interpret/>.

F. KORNECK (2007), «Unterrichtsreihe zur nichtlinearen Dynamik und Strömungsphysik», http://web.uni-frankfurt.de/fb13/didaktik/pagesK/chaos_modul_5.pdf.

M. KUHLMANN (2006), Art. «Quantum Field Theory», en: *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, http://plato.stanford.edu/entries/quantum-field-theory/.

K. MAINZER (2004), «Was sind komplexe Systeme? Komplexitätsforschung als integrative wissenschaft», http://www.inte-grative-wissenschaft.de/Archiv/do-kumente/Mainzer-14_10_04.pdf).

M. RIBEIRO (2009), «Relativistic Fractal Cosmologies», Fuente: http://arxiv.org/pdf/0910.4877v1.pdf.

M. RIORDAN (2012), «Tackling infinity», Fuente: http://www.americanscientist.org/bookshelf/pub/tackling-infinity.

D. ROSS (2006), «*Game Theory*», en: The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Spring 2006 Edition), Edward N. ZALTA (ed.), http,//plato.stanford.edu/archives/spr2006/entries/gametheory/.

F. VIDOTTO (2013), «Infinities as a measure of our ignorance», Fuente: http://arxiv.org/pdf/1305.2358.pdf.